



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ METODY VÝROBY ZÁVITŮ

ON THE MODERN TECHNOLOGIES OF THREAD PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Mišák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondřej Mišák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Moderní metody výroby závitů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Po teoretickém rozboru technologie výroby závitů a experimentálních pracích budou vyhodnoceny dosažené technologické a ekonomické parametry, s rozбором dosažené kvality a další optimalizace výroby.

Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše technologie výroby závitů.
Výběr zvolené technologie, její analýza.
Návrh experimentálních zkoušek, jejich realizace.

Seznam doporučené literatury:

FROMENTIN, G., POULACHON, A., MOISAN, B., JULIEN, J., GIESSLERAGAPIOU, J. S. Precision and surface integrity of threads obtained by form tapping. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54, Issue 1, 2005, 519-522.

AGAPIOU, J. S. Evaluation of the effect of high speed machining on tapping, Journal of Manufacturing Science & Engineering Technology, ASME, 1994. 116:457-462.

IVANOV, V., KIROV, V. Rolling of internal threads: Part 1, Journal of Materials Processing Technology, 72, 1996. 214-220.

CHOWDHARY, S., KAPOOR, S. G., DEVOR, R. E. Modeling forces including elastic recovery for internal thread forming, Journal of Manufacturing Science & Engineering, ASME, 125, 2003. pp. 681-688.

CHANDRA, R., DAS, S. C. Forming taps and their influence on production, Journal of India Engineering, 55, 1975. 244-249.

FROMENTIN, G., POULACHON, G., MOISAN, A. Thread forming tapping of alloyed steel, ICME Proceedings, Naples, Italy, 2002. 115-118.

FROMENTIN, G., POULACHON, G., MOISAN, A. Metalurgical aspects in cold forming tapping, NCMR Proceedings, Leeds, UK, 2002. 373-377.

HENDERER, W. E., von TURKOVICH, B. F. Theory of the cold forming tap, Annals of the CIRP, 23, 1974. 51-52.

DVOŘÁK M., PROKOP J. Technologické aspekty válcování závitů. In. FORM 2006 Brno. Proceedings of the 8th Intern. Conference Forming Technology, Tools and Machines. 1st ed. Brno, Brno University of Technology Department of Metal Forming and Trade Fairs Brno, September 19-20, 2006. Vol. 1. p 2/1-2/6. ISBN 80-214-3231-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá studiem závitů, konkrétně úvodem do základní geometrie závitů, jejich výrobou a moderními trendy, kterými lze závity zhotovit. Experimentální část je věnována výrobě závitů pomocí řzacích a tvářecích závitníků, porovnání silového i momentového zatížení a poškození vzniklé při výrobě závitů při změně řzné rychlosti. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky experimentálních zkoušek a jejich zhodnocení.

Klíčová slova

závity, moderní metody, závitníky, řezání závitů, tváření závitů

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the study of threads, specifically the introduction to the basic geometry of threads, their production and modern trends by which threads can be made. The experimental part is devoted to the production of threads using cutting and forming taps, comparison of force and moment loads and damage caused during the production of threads when changing the cutting speed. In the end, the achieved results of experimental tests and their evaluation are summarized.

Key words

threads, modern methods, taps, thread cutting, thread forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIŠÁK, Ondřej. *Moderní metody výroby závitů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132839>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Moderní metody výroby závitů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21.5.2021

Datum

Ondřej Mišák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Děkuji také panu Jiřímu Čechovi za cenné rady a odborný dohled při realizaci experimentálních zkoušek. Rád bych poděkoval své rodině a blízkým za podporu během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD	7
1 GEOMETRIE A ROZDĚLENÍ ZÁVITŮ	8
1.1 Základní geometrické pojmy a rozdělení závitů	8
1.2 Druhy závitů.....	9
2 VÝROBA ZÁVITŮ.....	11
2.1 Soustružení závitů	11
2.2 Frézování závitů	12
2.3 Broušení závitů.....	12
2.4 Závitové čelisti	13
2.5 Válcování závitů.....	13
2.6 Lisování závitů	14
3 ZÁVITNÍKY	15
3.1 Základní geometrie a rozdělení závitníků	15
3.2 Řezací a tvářecí závitník	17
4 MODERNÍ METODY VE VÝROBĚ ZÁVITŮ	18
4.1 Povlakování nástrojů.....	18
4.2 Produkty od firmy Walter Tools	19
4.3 Produkty od firmy Emuge–Franken.....	21
5 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	23
5.1 Metodika experimentu	23
5.2 Očekávané výsledky experimentálních zkoušek.....	28
6 NAMĚŘENÁ DATA A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	30
6.1 Krouticí moment tvářecího závitníku.....	31
6.2 Krouticí moment řezacího závitníku s přímou drážkou.....	33
6.3 Krouticí moment řezacího závitníku se šroubovitou drážkou.....	35
6.4 Analýza poškození závitníků	37
7 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	40
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49

ÚVOD

Většina strojních zařízení obsahuje závity, proto je nutná jejich studie a snaha o dosažení největší možné efektivity při jejich výrobě. Závít může plnit funkci pohybovou nebo spojovací. Podle polohy vůči základnímu tělesu lze závity rozdělit na vnější (obr. 0.1) nebo vnitřní (obr. 0.1). Závít lze vyrobít třískovým obráběním nebo tvářením, kdy volba vhodné technologie závisí na požadovaných vlastnostech vyrobeného závitu. Moderním metodám ve výrobě závitů se věnuje část této bakalářské práce.



Obr. 0.1 Vnější závit (vlevo) a vnitřní závit (vpravo) [1].

Experimentální zkoušky se zabývají rozdílnostmi mezi závitem vyrobeným třískovým obráběním a tvářením. Zvolená technologie pro experimenty je výroba závitů závitníkem, a to konkrétně závitníkem tvářecím, závitníkem řezacím s přímou drážkou a závitníkem řezacím se šroubovitou drážkou. Při experimentálních zkouškách se měnila řezná rychlost a zkoumalo se silové a momentové zatížení působící na závitník. Naměřená data byla využita k vykreslení krouticího momentu a jeho následné analýze. V závěru experimentu se analyzovalo poškození závitníků při zhotovení všech požadovaných závitů.

1 GEOMETRIE A ROZDĚLENÍ ZÁVITŮ

Závity patří mezi důležité technologické prvky, které jsou nedílnou součástí většiny strojních zařízení. Závit se skládá z několika částí a je definován přesnou geometrií.

1.1 Základní geometrické pojmy a rozdělení závitů

Závit je technologický prvek určen závitovou plochou, kterou vytváří profil závitů, pohybuje-li se tak, že každý jeho bod opisuje šroubovici [2].

Rozteč P je vzdálenost mezi dvěma stejnolehlými body závitů [3]. Velikost rozteče se měří rovnoběžně s osou závitů.

Stoupání závitů P_h slouží k popisu závitů vícechodých. Stoupání závitů je vzdálenost mezi dvěma stejnolehlými body na téže šroubovici [3]. Velikost stoupání závitů se měří rovnoběžně s osou závitů (obr. 1.1). Pokud je závit jednochodý je velikost stoupání závitů shodná s roztečí.

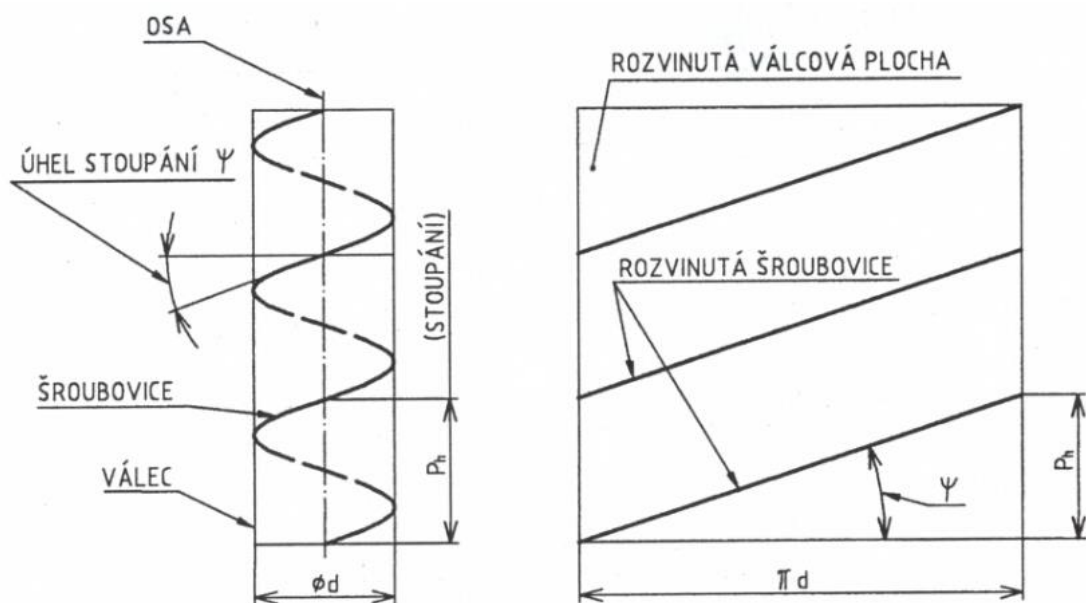
Pokud má závit více chodů, velikost stoupání závitů se vypočítá dle vztahu [2]:

$$P_h = P \cdot n \quad [mm] \quad (1.1)$$

P rozteč závitů [mm]

n počet chodů závitů [-]

Šroubovice je křivka, která vznikne při otočení bodu kolem pevné osy a současně jeho rovnoběžným rovnoměrným posuvem (obr. 1.1) [3]. Šroubovice se nachází na válcové ploše a je definována stoupáním P_h a průměrem válcové plochy d .



Obr. 1.1 Geometrie šroubovice závitů [2].

Úhel stoupání ψ je úhel, který mezi sebou svírá stoupání závitu P_h a obvod rozvinuté válcové plochy $\pi \cdot d$ (obr. 1.1). Úhel stoupání lze vyjádřit vztahem [3]:

$$\operatorname{tg}(\psi) = \frac{P_h}{\pi \cdot d} \quad [^\circ] \quad (1.2)$$

P_h stoupání závitu [mm]

d průměr válcové plochy [mm]

Rozdělení závitů

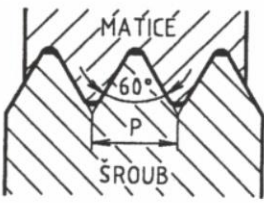
Závity můžeme rozdělit několika různými způsoby například podle [2]:

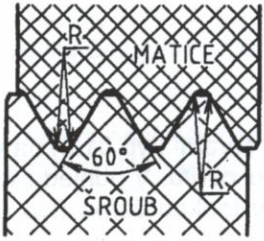
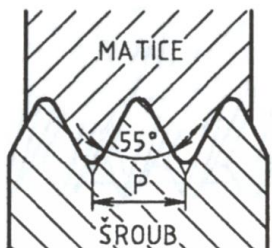
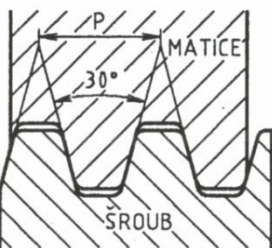
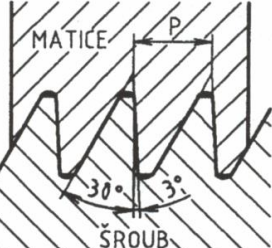
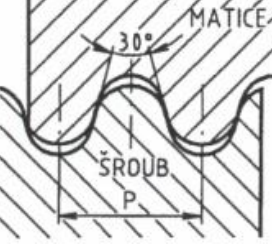
- funkce na závity pohybové nebo spojovací,
- počtu chodů na závity jednochodé, několikachodé,
- polohy profilu závitu vzhledem k základnímu tělesu na vnější (šrouby) a vnitřní (matice),
- smyslu vinutí šroubovice na pravé a levé,
- tvaru profilu závitu na metrický, lichoběžníkový, trubkový, oblý atd.

1.2 Druhy závitů

V technické praxi se můžeme setkat s několika různými druhy závitů, které se liší tvarem profilu, použitím nebo označením. Nejrozšířenější druhy závitů, jejich značení a použití je shrnuto v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Přehled vybraných spojovacích a pohybových závitů [2].

Závit	Tvar profilu	Použití	Číselně se označuje rozměr	Příklad
metrický s hrubou roztečí		běžná spojení, šrouby, matice	velký průměr závitu v mm	M20
metrický s jemnou roztečí		spojení s požadovanou větší samosvorností, závity ve slitinách lehkých kovů	velký průměr závitu a rozteč	M20x1
metrický pro jemnou mechaniku a optiku		v průmyslu jemné mechaniky a optiky v případech, že běžné metrické závity nemohou vyhovět funkčním a konstrukčním požadavkům	velký průměr závitu a rozteč	M25x0,5

metrický pro součásti z plastů		pro součásti z plastů, spojovaných s plastovými a kovovými součástmi	velký průměr závitu a rozteč	M24 M24x1
Whitworthův		pro opravy strojů staršího provedení a exportní zakázky do anglosaských zemí. Závít upevňovacího šroubu bezpečnostních pásů v automobilech	velký průměr závitu v palcích	W 7/16
trubkový válcový		ke spojování trubek, tvarovek a armatur, obvykle vnitřní závít	světlost trubky v palcích	G2
trubkový kuželový vnější		ke spojování trubek, tvarovek a armatur		R 11/2
lichoběžníkový rovnoramenný jednochodý		pohybové šrouby a matice	velký průměr závitu a rozteč	Tr20x4
lichoběžníkový rovnoramenný vícechodý		pohybové šrouby a matice se zvýšenou samosvorností a vyšší únosností	velký průměr závitu, stoupání a v závorce P s číselnou hodnotou rozteče závitu	Tr20x8 (P4)
lichoběžníkový nerovnoramenný		pro pohybové šrouby a matice s rozdílným zatížením ve směru osy	velký průměr závitu a rozteč	S20x4
oblý		pohybový závít vřeten malých průměrů a závít litinových šroubů	velký průměr závitu v mm	Rd 40

2 VÝROBA ZÁVITŮ

Závity lze vyrábět několika různými způsoby, vhodnou technologii výroby závitů lze zvolit podle požadovaného stupně přesnosti, kvality profilu závitu nebo ekonomických parametrů (výrobní čas, opotřebení nástroje apod.). Výrobu závitů lze rozdělit do dvou základních kategorií: třískové obrábění nebo tváření. Závity lze vyrábět soustružením, frézováním, válcováním, broušením, tvářením nebo řezáním pomocí závitníků, lisováním a dalšími technologiemi [4].

2.1 Soustružení závitů

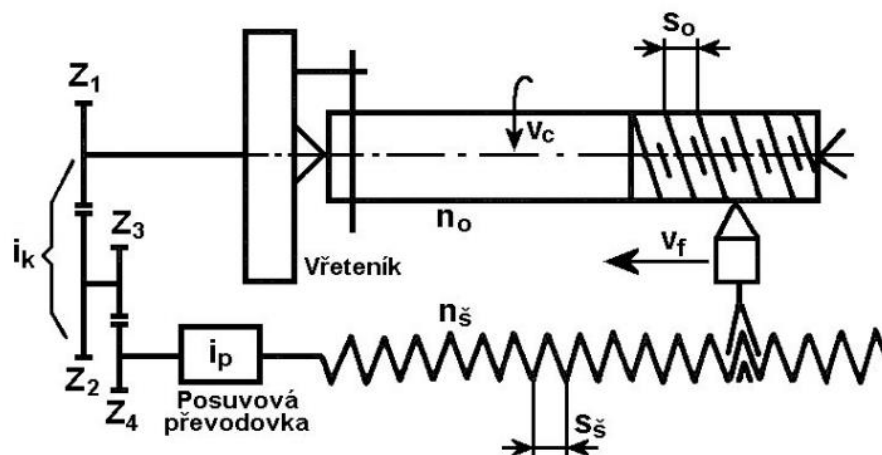
Při soustružení závitů je stoupání závitu přímo úměrné posuvu nástroje na otáčku obrobku [5]. Závity se soustruží speciálním závitovým nožem na univerzálních, revolverových, automatických, poloautomatických a různých speciálních soustružnických strojích [6].

Kinematické schéma soustružení závitu na hrotovém univerzálním soustruhu je zobrazeno na obr. 2.1 a platí pro něj následující vztahy [6]:

$$n_o \cdot s_o = n_{\xi} \cdot s_{\xi} \quad (2.1)$$

$$i = \frac{n_{\xi}}{n_o} = \frac{s_o}{s_{\xi}} = \frac{z_{\xi}}{z_o} = i_p \cdot i_k = i_p \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad [-] \quad (2.2)$$

n_o	otáčky obrobku	$[\text{min}^{-1}]$
n_{ξ}	otáčky vodicího šroubu	$[\text{min}^{-1}]$
s_o	stoupání obrobku	$[\text{mm}]$
s_{ξ}	stoupání vodicího šroubu	$[\text{mm}]$
i_p	převod posuvové převodovky	$[-]$
i_k	převod výměnnými ozubenými koly	$[-]$



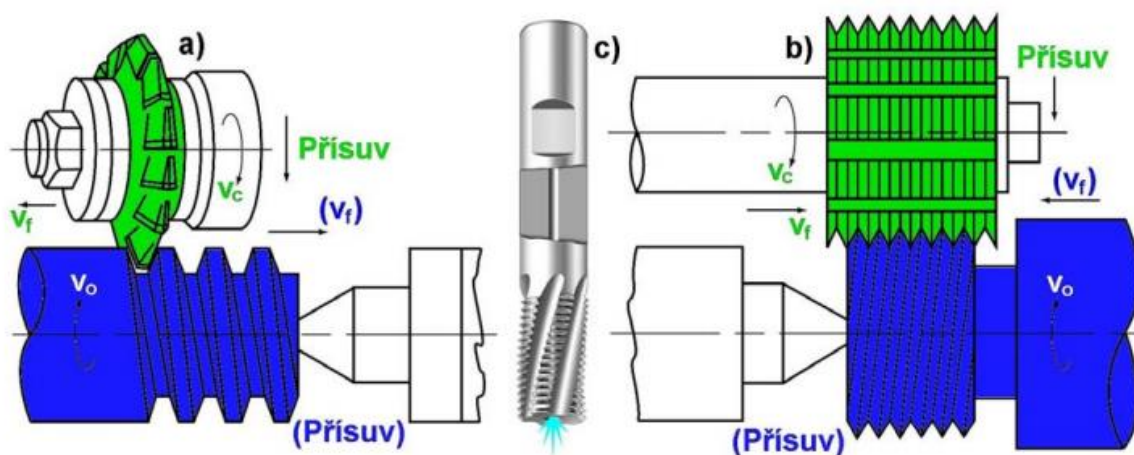
Obr. 2.1 Kinematika soustružení závitu na hrotovém soustruhu [5].

2.2 Frézování závitů

Frézování závitů patří mezi méně časté metody výroby závitů. Uplatnění této metody je nezbytné v některých zvláštních případech (obrábění nerotačních nebo asymetrických součástí, obrábění materiálů s horším odvodem a tvorbou třísky, obrábění tenkostěnných součástí atd.) [4].

Frézovat závit lze pomocí [6]:

- **závitové kotoučové frézy** (obr 2.2a) pro frézování dlouhých závitů (např. pohybové šrouby),
- **závitové hřebenové frézy** pro frézování kratších závitů, mohou být nástrčné (obr. 2.2b) nebo stopkové (obr. 2.2c),
- **okružovací frézovací hlavy** pro velmi produktivní frézování dlouhých závitů.



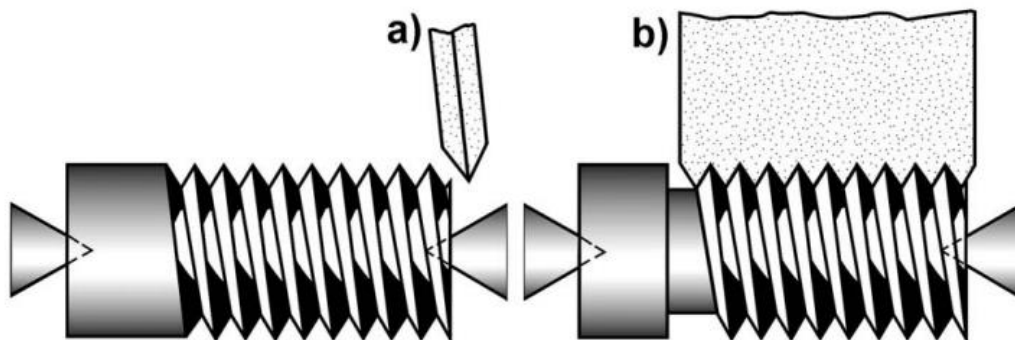
Obr. 2.2 Metody frézování závitů [5]: a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza, c) hřebenová válcová stopková fréza.

2.3 Broušení závitů

Broušení závitů patří mezi technologie výroby závitů, když je zapotřebí dosáhnout vysoké kvality drsnosti povrchu, profilu a stoupání závitu [6].

Vnější závit lze brousit na speciálních závitových bruskách [6]:

- **jednoprofilovým brousícím kotoučem** (obr 2.3a) kdy je dosaženo vysoké přesnosti vyrobeného závitu (jedenprofilový brousící kotouč se používá pro výrobu měřidel a závitových nástrojů), nevýhodou této metody je malá produktivita,
- **hřebenovým kotoučem** (obr 2.3b) kdy je dosaženo vyšší produktivity než při broušení závitů jednoprofilovým brousícím kotoučem.



Obr. 2.3 Způsoby výroby vnějších závitů broušením [5]: a) jednoprofilový brousící kotouč, b) hřebenový kotouč.

2.4 Závítové čelisti

Závítové čelisti se používají pro řezání vnějších závitů. Čelisti současně konají rotační a posuvný pohyb kolem své osy, tímto způsobem postupně dochází k odběru materiálu ve formě třísky a vyřezání požadovaného profilu závitu. [6].

Podle tvaru a použití se závítové čelisti dělí na:

- **dělené závítové čelisti** se používají pro výrobu méně přesných závitů [7],
- **kruhové závítové čelisti** (obr. 2.4) pro ruční i automatové řezání závitů [7],
- **závitořezné hlavy** vhodné pro sériovou výrobu, z důvodu dosažení nižších výrobních časů a nižšího rizika poškození závitu [8].



Obr. 2.4 Závítová kruhová čelist pro metrický závit [9].

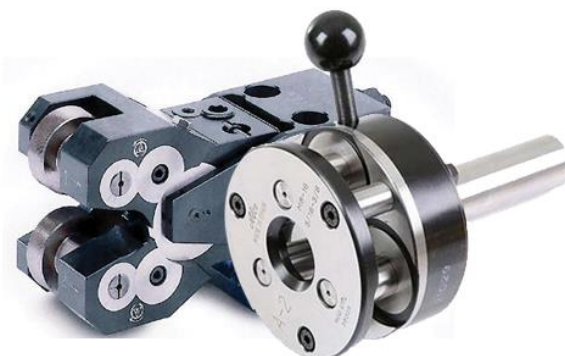
2.5 Válcování závitů

Válcování závitů je metoda vhodná pro výrobu přesných vnějších závitů s vysokou kvalitou výsledného povrchu závitu [10]. Při válcování závitů (na rozdíl od soustružení, frézování nebo broušení) nedochází k odběru materiálu ve formě třísky. Materiál je plasticky deformován a zpevňován, válcovaný závit tak získává lepší mechanické vlastnosti (vyšší pevnost materiálu v tahu, ve střihu, vyšší mez únavy a jakost povrchu) [10].

Závity lze válcovat **plochými čelistmi**. Tato metoda je vhodná pro výrobu běžných spojovacích šroubů, kvůli vzniku poměrně vysoké rozměrové odchylky [5].

Válcování pomocí **kotoučových čelistí** lze podle způsobu rozdělit na [5]:

- **radiální způsob** (obr. 2.5) vhodný pro válcování menších závitů,
- **axiální způsob** používá se pro výrobu dlouhých závitů.



Obr. 2.5 Radiální způsob výroby závitů válcováním [11].

2.6 Lisování závitů

Lisování závitů je technologie vhodná pro zhotovení závitů na plastových součástech (obr. 2.6). Šroubové závity byly původně navrženy a normalizovány pro kovové součásti, proto je nutné pro výrobu závitu na plastové součásti použití určitých modifikací [12]. Klasické normalizované závity jsou poměrně mělké a při použití na plastových součástech vzniká riziko poškození závitu [12]. Vhodná modifikace je použití co nejhrubší možné rozteče (bez ohledu na velikost závitu) [12].



Obr. 2.6 Závít na hrdle PET láhve [13].

3 ZÁVITNÍKY

Závítník lze definovat jako šroub, v jehož závitové části jsou vytvořené podélné drážky (drážky lze vytvořit frézováním, broušením nebo válcováním) [14]. Drážky slouží k odvodu třísek z místa řezu a tvoří zuby závítníku [14]. Zuby závítníku mají v řezné části břit, které slouží k odřezávání materiálu [14].

3.1 Základní geometrie a rozdělení závítníků

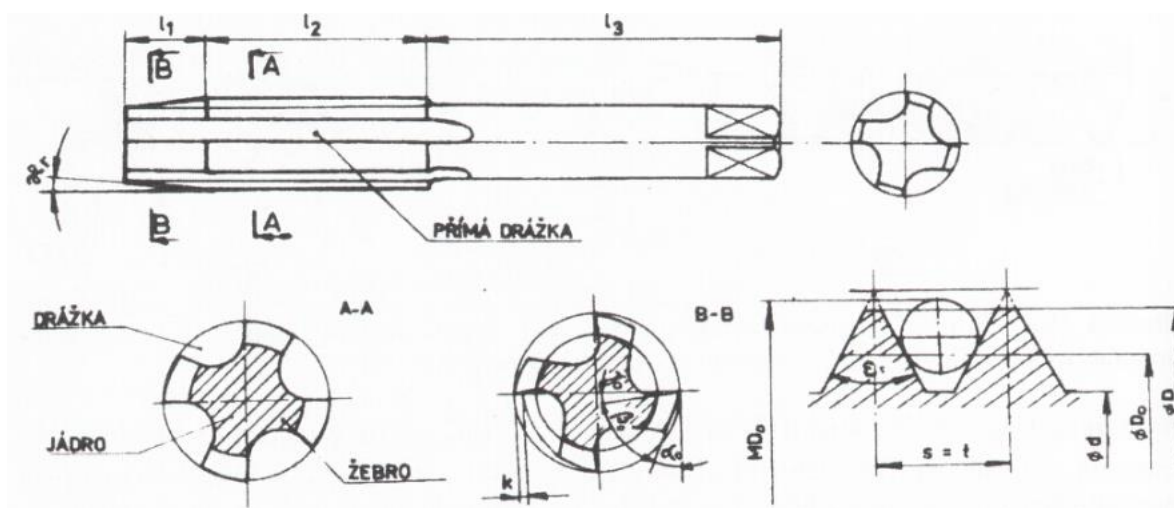
Řezný kužel je část závítníku o délce l_1 s úhlem nastavení hlavního ostří κ_r (obr. 3.1) [8]. Velikost úhlu se volí dle obráběného materiálu nebo počtu závítníků v sadě (v případě ručního řezání závitů) [8].

Zuby závítníku tvoří v řezné části závítníku ostří, které je většinou shodné s požadovaným profilem závitu, který má být vyřezán [14]. Zuby závítníku mají tvar ozubených hřebenů [14]. V řezné části závítníku se nachází několik břitových hran, proto lze závítník označit za mnohobřítý řezný rotační nástroj [14].

Drážky závítníku mohou být přímé (obr. 3.1) nebo ve šroubovici (šroubové drážky se používají pro určení směru odvádění třísek) [8]. Celkový počet drážek je určen velikostí průměru závítníku [14].

Vodící část závítníku je pokračování závitové části, která se nachází mezi řezným kuželem a stopkou závítníku. Konečný rozměr vyřezaného závitu je závislý na délce vodící části závítníku l_2 (obr. 3.1) [14].

Stopka závítníku se nachází za vodící částí závítníku. Stopka závítníku o délce l_3 (obr. 3.1) je obvykle zakončena čtyřhranem, který souží k upnutí závítníku [14]. U nástrčných závítníků je stopka nahrazena válcovým otvorem s klínovou drážkou [14].



Obr. 3.1 Základní geometrie závítníku [8].

Rozdělení závitníků

V technické praxi se vyrábí velké množství závitníků, které se liší použitím, tvarem, velikostí atd. Závitníky lze rozdělit podle účelu a způsobu použití do šesti základních kategorií (ruční závitníky, strojní závitníky, maticové závitníky, kombinované závitníky, čelistníky a speciální závitníky).

Strojní závitník

Strojní závitník se používá pro strojní řezání závitů. Použití strojních závitníků patří mezi produktivní metody výroby závitů (závit je většinou vyřezán na jeden záběr vlivem vzniku vyššího točivého momentu) [7].

Maticové závitníky

Maticové závitníky se používají pro řezání krátkých závitů [8]. Jsou charakteristické dlouhou závitovou částí a dlouhým rezným kuželem [14].

Kombinované závitníky

Kombinované závitníky jsou speciální nástroje, které vzniknou například kombinací vrtáku a závitníku do jednoho celistvého nástroje [14]. Výhodou použití kombinovaných závitníků je možnost předvrtat díru a vyřezat závit jedním nástrojem.

Čelistníky

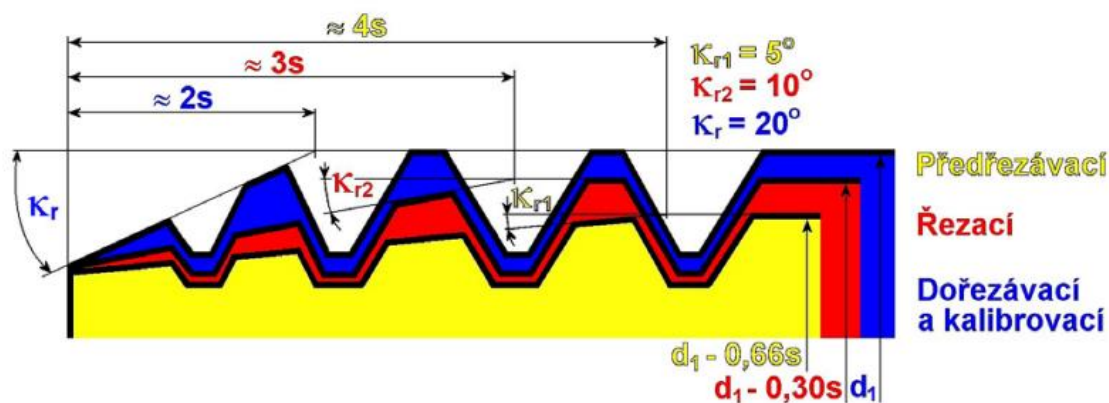
Čelistníky patří mezi zvláštní druhy závitníků, které se používají pro řezání závitu v řezacích závitových čelistech [14].

Speciální závitníky

Pomocí běžných závitníků se většinou vyrábějí závity metrické. Speciální závitníky se používají při výrobě zvláštních závitů (lichoběžníkových, oblých, kuželových apod.) [14].

Ruční závitník

Ruční závitníky (obr. 3.2) se nejčastěji používají v sadě, kde se nacházejí dva až tři nástroje. Každý závitník odebírá pouze část průřezu, tím se sníží potřebný točivý moment [7]. První závitník je předřezávací a daný závit předřezává, druhý závitník je řezací a daný závit reže a třetí závitník jej dořezává a závit kalibruje [5].

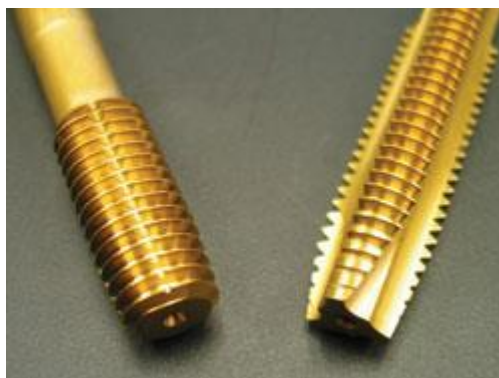


Obr. 3.2 Profil ručních závitníků [5].

3.2 Řezací a tvářecí závitník

Řezací závitník

Při použití řezacího závitníku dochází k odběru materiálu z místa řezu pomocí třísky. Řezací závitník (obr. 3.3) je namáhám menší silou než tvářecí závitník, protože má řeznou část navrženou pro snadné vnikání do obráběného materiálu [15]. Řezacími závitníky lze obrábět téměř všechny obrobitelné materiály, nevýhodou je potřeba drážek pro odvod třísky a tím snížená stabilita nástroje [16].



Obr. 3.3 Tvar závitové části tvářecí závitníku (vlevo) a řezacího závitníku (vpravo) [17].

Tvářecí závitník

Při použití tvářecího závitníku (obr. 3.3) nedochází k odběru materiálu. Materiál je transformován a zhutňován do požadovaného profilu závitu [18]. Takto vzniklý profil má díky zhuštěnému průběhu vláken lepší vlastnosti (větší pevnost v tahu, vyšší trvanlivost, atd.) [15]. Pokud je při tváření transformováno nedostatečné množství materiálu, vzniká ve vrcholcích závitů cípatost (obr. 3.4). Cípatost nemá vliv na mechanické vlastnosti závitu, ale takto vzniklý závit nelze použít v některých případech [16]:

- potravinářský průmysl a medicínská technika (hrozí nebezpečí usazení nečistot a bakterií v oblasti cípatosti závitu),
- automatické šroubování součástí (nebezpečí uvážnutí závitu v cípatosti závitu),
- letecký průmysl (závit svým tvarem profilu nesplňuje požadavky pro použití).



Obr. 3.4 Cípatost závitů vzniklá při použití tvářecího závitníku [18].

4 MODERNÍ METODY VE VÝROBĚ ZÁVITŮ

Správná volba nástroje pro zhotovení závitu je nezbytná pro jejich efektivní výrobu. Existuje velké množství firem, které se zabývají výrobou nástrojů pro závitování, proto je zde snaha o vytvoření nástroje, který má při srovnání s konkurencí co nejlepší možné dosažené výsledky. Životnost nástroje, výsledná kvalita a náklady na výrobu jednoho závitu patří mezi hlavní kritéria při volbě vhodného nástroje.

4.1 Povlakování nástrojů

Povlakování nástrojů je výhodné z důvodu zlepšení mechanických vlastností (odolnosti proti otěru, snížení tření, navýšení řezné rychlosti apod.) [19]. Mezi nejčastěji používané povlaky patří: TiN, TiC, TiCN, WC/C, CrN, Nit [19].

Klasické metody povlakování nástrojů

Metoda CVD *Chemical Vapor Deposition* (chemická depozice vrstev) patří mezi nejstarší technologie povlakování. Mezi výhody patří výborná adheze povlaku, možnost nanesení větší tloušťky vrstvy a možnost povlakování složitějších tvarů [20]. Nevýhody jsou vysoká teplota procesu a nemožnost povlakování ostrých hran [21].

Metoda PVD *Physical Vapour Deposition* (fyzikální depozice vrstev) je metoda vhodná pro výrobu tvrdých povlaků (obr. 4.1). Mezi výhody patří nižší pracovní teploty a schopnost povlakování ostrých hran [21]. Nevýhody jsou tenčí vrstva povlaku a potřeba kvalitní přípravy povrchu na povlakování [21].



Obr. 4.1 Tvářecí závitník s povlakem TiN metodou PVD [22].

Moderní metody v povlakování nástrojů

HiPIMS *High Power Impulse Magnetron Sputtering* (vysoce výkonné impulzní magnetronové rozprašování) je technologie založená na nanášení povlaku magnetronovým rozprašováním [23]. Výsledný povrch dosahuje vysoké hustoty mikrostruktury, větší tvrdosti a menší drsnosti povrchu ve srovnání s běžnějšími technikami nanášení PVD (např. DC magnetronové rozprašování) [23]. Srovnatelné metody povlakování dosahují tvrdosti 25 GPa s Youngovým modulem 460 GPa, metoda HiPIMS dosahuje tvrdosti vyšší než 30 GPa s Youngovým modulem 368 GPa [24].

4.2 Produkty od firmy Walter Tools

Tvářecí závitník TC470 Supreme

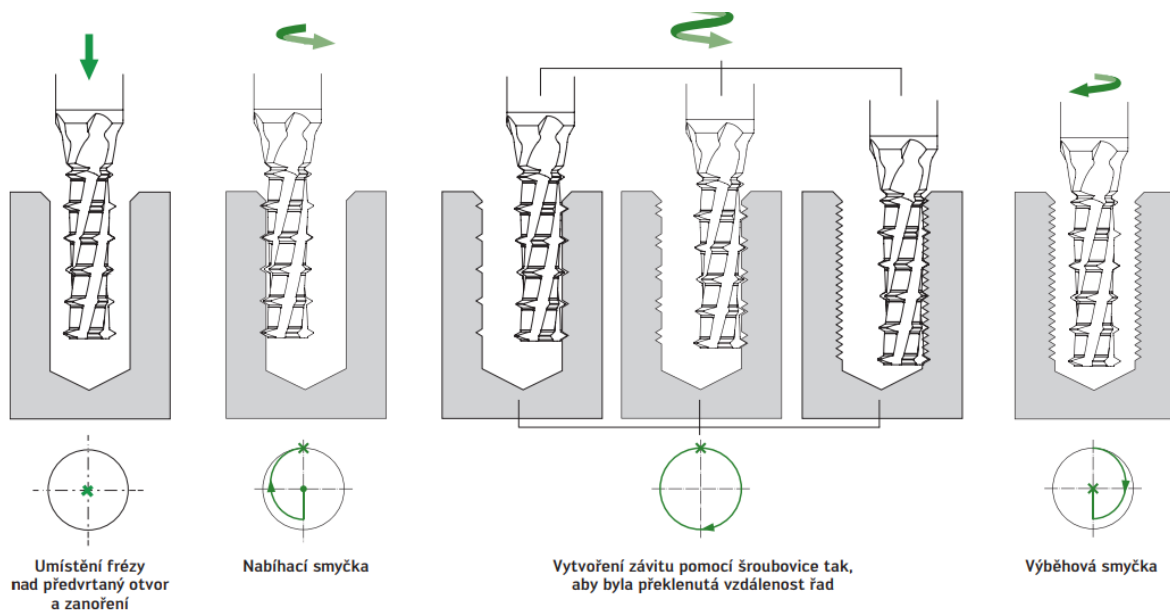
Tvářecí závitník ze slinutého karbidu TC470 Supreme (obr. 4.2) je vhodný pro obrábění ISO P (ocelový materiál), stejně dobré výsledky dosahuje i při obrábění ISO N (hliník) [25]. Vyšší počet tvářecích hran [26] a hladký povrch z povlaku HiPIMS má za následek snížení krouticího momentu a prodloužení životnosti nástroje [25].



Obr. 4.2 Tvářecí závitník TC470 Supreme [27].

Závitová fréza TC620 Supreme

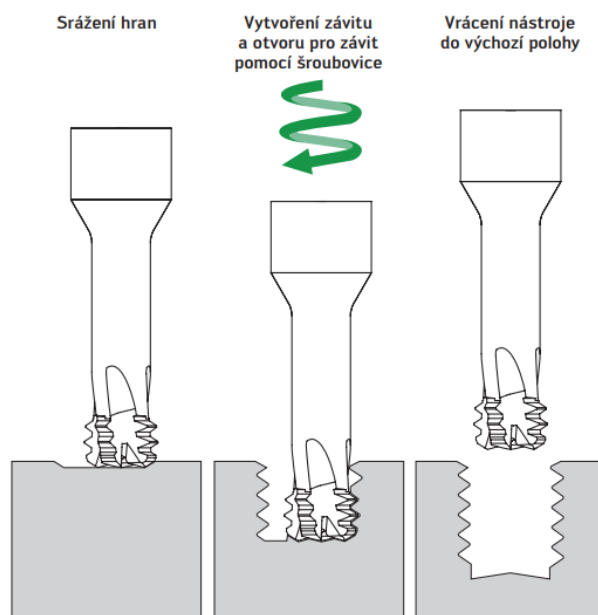
Závitová fréza TC620 Supreme (obr. 4.3) je navržena pro univerzální použití a k obrábění většiny druhů materiálů: ISO P, ISO M (korozi-vzdorná ocel), ISO K (litina), ISO N a ISO S (žárovzdorné slitiny) do tvrdosti 48 HRC [26]. Vnitřní chlazení zajišťuje spolehlivý odvod třísek [26]. Malé řezné síly a stálost rozměru jsou důsledky víceřadého designu řezací části závitové frézy [26].



Obr. 4.3 Kinematika výroby vnitřního závitů závitovou frézou TC620 Supreme [26].

Závitová fréza TC685 Supreme

Závity se většinou frézují do předvrtaného otvoru. Čelní frézovací geometrie závitové frézy TC685 Supreme (obr. 4.4) je navržena tak, že při frézování dochází k vytvoření otvoru pro závit a posléze k vyřezání závitu v jednom pracovním kroku [27]. Tato závitová fréza je vhodná pro obrábění ISO P a ISO H (tvrzené materiály) s tvrdostí 44 až 65 HRC [27]. Kombinací vnitřního chlazení tlakovým vzduchem a úhlem šroubovice 15° dochází k optimálnímu odvodu třísky a tím i k zvýšení maximální životnosti nástroje [27].



Obr. 4.4 Kinematika výroby závitu závitovou frézou TC685 Supreme [26].

Závitová fréza T2711

Závitová fréza T2711 (obr. 4.5) s vyměnitelnými břitovými destičkami kombinuje výhody frézování a řezání závitů [26]. Závitová fréza je univerzální a lze ji použít pro obrábění většiny druhů materiálu ISO P, ISO M, ISO K, ISO S a ISO H do tvrdosti 55 HRC [26]. Břítové destičky jsou uspořádané do více řad pro kratší dobu obrábění [26]. Při použití je dosaženo vysoké řezné rychlosti a posuvu na zub [28].



Obr. 4.5 Závitová fréza TC2711 [28].

4.3 Produkty od firmy Emuge–Franken

InnoFrom Steel–M IKZN

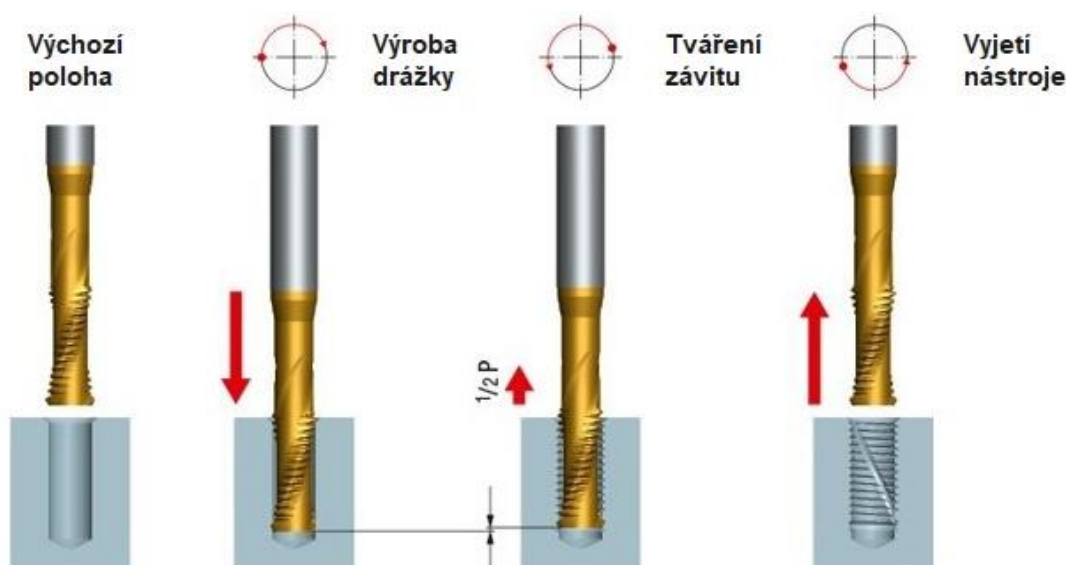
InnoFrom Steel-M IKZN je tvářecí závitník vhodný pro tvorbu závitů M3 až M36 v ocelích s pevností v tahu 600 až 1400 N/mm² (konstrukční a automatové oceli, cementované oceli, tepelně zpracované oceli, nitridační oceli apod.) [29]. Vnitřní chlazení může být axiální nebo po bočních stranách závitníku (obr. 4.6) [29]. Mazací drážky jsou přizpůsobeny pro tváření závitů v horizontální poloze a v průchozích otvorech [29]. Závitník je vyrobený z HSSE PM (vysoce výkonná rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií) [30]. Speciální geometrie polygonu má za následek nižší točivý moment [30].



Obr. 4.6 Tvářecí závitník InnoFrom Steel-M IKZN [30].

Emuge Punch Tap

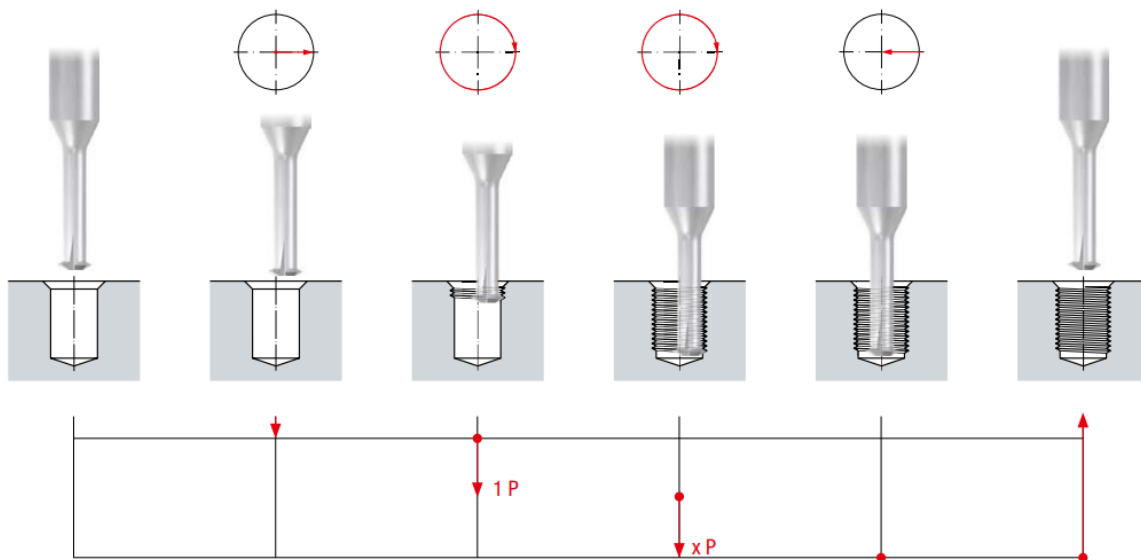
Emuge Punch Tap je nová technologie výroby tvářených závitů do předvrtané díry. Kinematika se skládá ze 3 procesů (obr. 4.7). Při prvním procesu první zub nástroje vyrobí drážku a přesune se do požadované hloubky závitů [31]. Při tomto procesu nedochází k vytvoření profilu závitů. Při dosažení požadované hloubky nastává krok druhý [31]. Otočením nástroje doleva přibližně o 180 ° vytváří každý zub polovinu závitů [31]. Ve třetím kroku dochází šroubovým pohybem k vytažení nástroje z vyvrtaného otvoru po dráze vytvořených drážek [31]. Zkrácená dráha nástroje má za následek časovou úsporu až 75 % [32]. Rozsah závitování M5 až M8 v litých a tvárných slitinách hliníku [32].



Obr. 4.7 Kinematika výroby tvářeného závitů metodou Punch Tap - podle [32].

Emuge ZGF

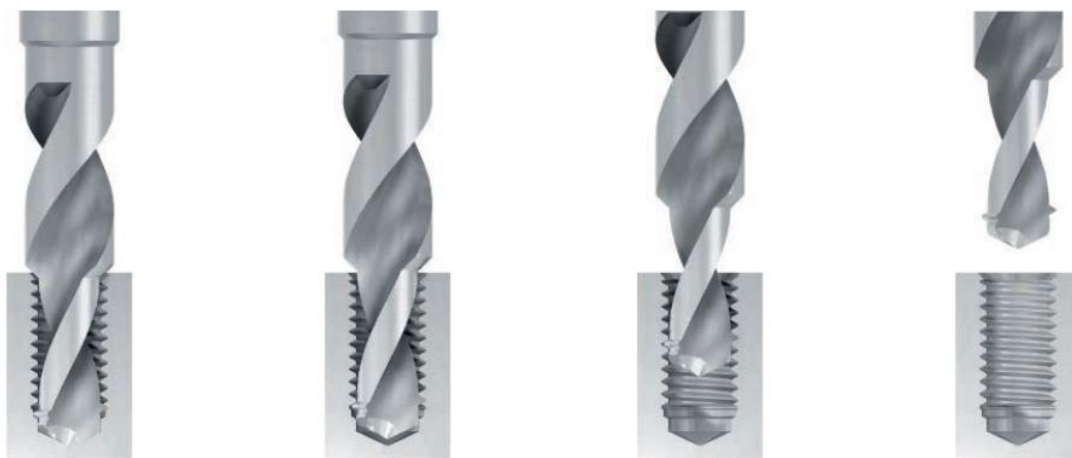
Emuge ZGF je interpolační závitová fréza vhodná pro obrábění těžko obrobitelných materiálů [33]. Geometrie závitové frézy má za následek nízké řezné síly, vysokou kvalitu povrchu a možnost řezání závitu ke spodní straně předvrtané díry (obr. 4.8) [33]. Fréza je vhodná pro výrobu pravých i levých závitů [33].



Obr. 4.8 Kinematika výroby interpolační závitovou frézou Emuge ZGF [33].

Emuge Taptor

Emuge Taptor kombinuje v jednom nástroji proces předvrtání otvoru a následné vyřezání závitu (obr. 4.9) [34]. Předvrtání otvoru a obrábění závitu se provádí v jediném pracovním kroku, to má za následek eliminaci potřeby změny pracovního nástroje [34]. Při obrábění závitu M6 strany krytu hlavy válců do hloubky 12 mm je časová úspora 2 sekundy na jeden závit [34].



Obr. 4.9 Kinematika výroby závitu nástrojem Emuge Taptor [34].

5 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

Experimentální zkoušky se zabývají technologií výroby závitů závitníky. Při zkouškách bylo použito celkem 9 závitníků. Tři závitníky tvářecí, tři závitníky řezací s přímou drážkou a tři závitníky řezací se šroubovitou drážkou. Každý závitníkem byl vyráběn závit M6 při použití tří různých řezných rychlostí. Při experimentu byl měřen krouticí moment a silové zatížení, kterým byl závitník namáhán při závitování. Naměřená data se vyhodnotila a srovnala se velikost působících momentů při použití odlišných závitníků a řezné rychlosti. Po výrobě všech požadovaných závitů se vyfotografovala tvářecí část použitých závitníků a analyzovalo se poškození vzniklé při výrobě závitu. Na konci experimentu jsou vyhodnoceny dosažené technologické a ekonomické parametry s návrhem optimalizace výroby.

5.1 Metodika experimentu

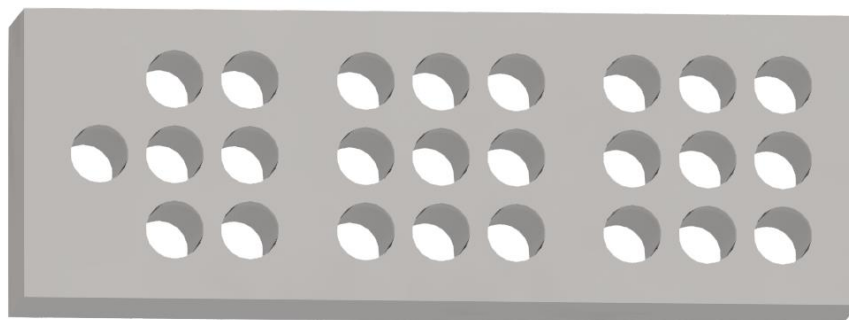
Zkušební materiál

Materiál zvolený pro předvrtání otvorů a následnou tvorbu závitů byla konstrukční ocel ČSN 12 050 tloušťky 16 mm. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 5.1. Tato ocel je vhodná na hřídele těžních strojů, větší ozubená kola, ojnice, čepy, šrouby, spojovací součásti a další [35].

Tab. 5.1 Chemické složení ČSN 12050 v % [35].

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0,420-0,500	0,500-0,800	max. 0,400	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,400	max. 0,400	max. 0,100

Do této konstrukční oceli bylo vyvrtáno celkem 25 průchozích otvorů o doporučeném průměru uvedeném v katalogu výrobce. Do předvrtaných otvorů byl poté každým závitníkem vytvořen závit při třech různých řezných rychlostech (obr. 5.1). Použité řezné rychlosti, doporučené řezné rychlosti, počet vyrobených závitů, a průměry předvrtaných děr jsou zpracovány v tab. 5.2.



Obr. 5.1 Návrh výroby předvrtaných děr a závitů.

Tab. 5.2 Informace o vyrobených závitech [36; 37; 38].

Druh a označení závitníku	Použitá V_c	Doporučená V_c	Počet	Průměr díry
	[m/min]	[m/min]	[-]	[mm]
Tvářecí závitník A.	20	17	3	5,55
Tvářecí závitník B.	40	17	3	5,55
Tvářecí závitník C.	60	17	3	5,55
Řezací závitník s přímou drážkou A.	10	12-15	1	5
Řezací závitník s přímou drážkou B.	20	12-15	3	5
Řezací závitník s přímou drážkou C.	30	12-15	3	5
Řezací závitník se šroubovicí A.	10	12-15	3	5
Řezací závitník se šroubovicí B.	20	12-15	3	5
Řezací závitník se šroubovicí C.	30	12-15	3	5

Zkušební stroj

Závity byly vytvořeny obráběcím centrem MCV 1210 (obr. 5.2) od firmy TAJMAC-MTM S.p.A. Technické parametry stroje jsou popsány v tab. 5.3.



Obr. 5.2 Obráběcí centrum MCV 1210.

Tab. 5.3 Technické parametry obráběcího centra MCV 1210 [39].

Pojezdy	
osa X (křížový suport)	1 000 mm
osa Y (příčník)	800 mm
osa Z (smykadlo)	600 mm
rozměry pracovního stolu	1200 x 1 000 mm
maximální zatížení	3 000 kg
Vřeteno	
typ	elektrovřeteno Weiss 176 024_800
maximální otáčky	18 000 min ⁻¹
maximální výkony	31 kW
maximální krouticí moment	197 Nm
upínací kužel	HSK-A 63
Procesní kapalina	7,5% Fuchs Ecocool Ultra-Motive

Řezné podmínky

Řezné podmínky byly pro každou řeznou rychlost konstantní a během měření se neměnily. Řezné podmínky jsou popsány v tab.5.4.

Tab. 5.4 Řezné podmínky použité při měření.

v_c	f_n	n_o	t
[m/min]	[mm/ot]	[min⁻¹]	[s]
10	1	570	20
20	1	1060	20
30	1	1590	20
40	1	2120	20
60	1	3180	20

Zkušební závitníky

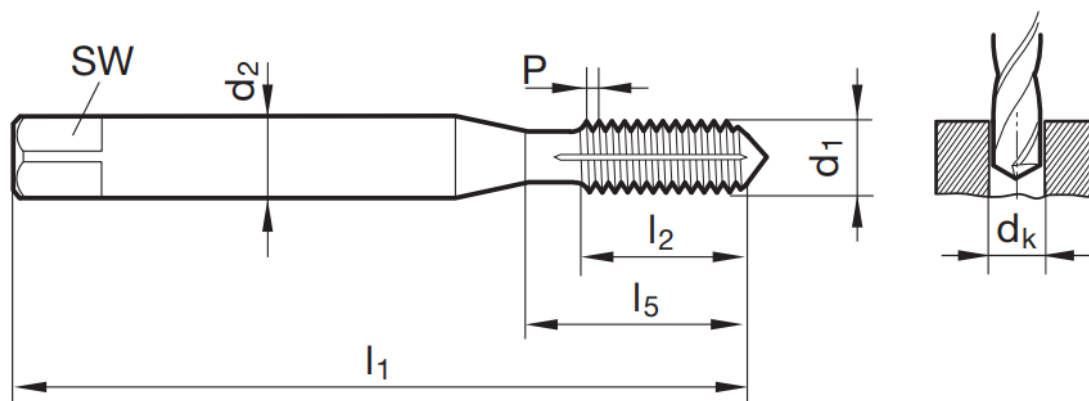
Při experimentu byly použity tři různé závitníky. Tvářecí závitník, řezací závitník s přímou drážkou a řezací závitník se šroubovitou drážkou s úhlem 35° . Základní informace o závitnících jsou popsány v tab. 5.5. Geometrie tvářecího závitníku je popsána na obr. 5.3 a tab. 5.6. Geometrie řezacích závitníků je vyobrazena na obr. 5.4 a obr. 5.5. Základní geometrické údaje o řezacím závitníku s přímou drážkou a lamačem jsou popsány v tab. 5.7. Základní geometrické údaje o řezacím závitníku se šroubovitou drážkou jsou shrnuty v tab. 5.8.

Tab. 5.5 Základní informace o závitnících [36; 37; 40].

Druh závitníku	Typ	Povlak	Materiál	Norma	Otvor
Tvářecí	N	TiN	HSS-E-PM	371	průchozí, slepý
Řezací s přímou drážkou a lamačem	N	TiN	HSSE	371	průchozí
Řezací se šroubovitou drážkou 35°	N	TiN	HSSE	371	slepý

Tab. 5.6 Geometrie tvářecího závitníku [41].

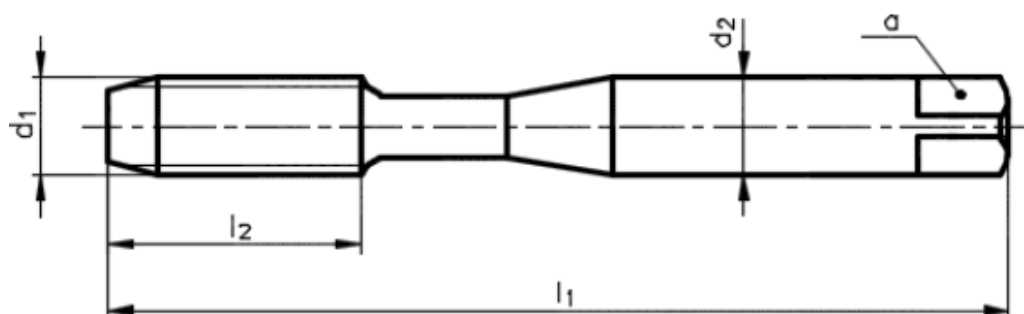
d_1	Lícování	P	d_2	SW	d_k	l_1	l_2	l_3
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
M6	6HX	1	6	4,9	5,55	80	16	30



Obr. 5.3 Základní geometrie tvářecího závitníku [41].

Tab. 5.7 Geometrie řezacího závitníku s přímou drážkou a lamačem [36].

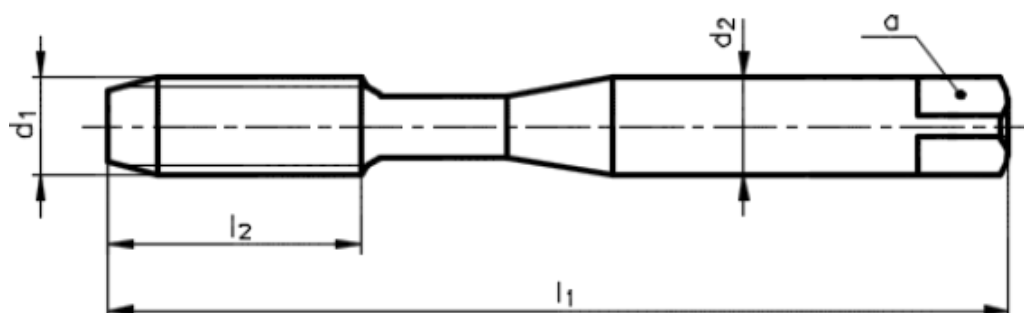
d_1	Lícování	P	l_1	l_2	d_2	a
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
M6	6H	1	80	15	6	4,9



Obr. 5.4 Základní geometrie řezacího závitníku s přímou drážkou [36].

Tab. 5.8 Geometrie řezacího závitníku se šroubovitou drážkou [37].

d_1	Lícování	P	l_1	l_2	d_2	a
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
M6	6H	1	80	10	6	4,9



Obr. 5.5 Základní geometrie řezacího závitníku se šroubovitou drážkou [37].

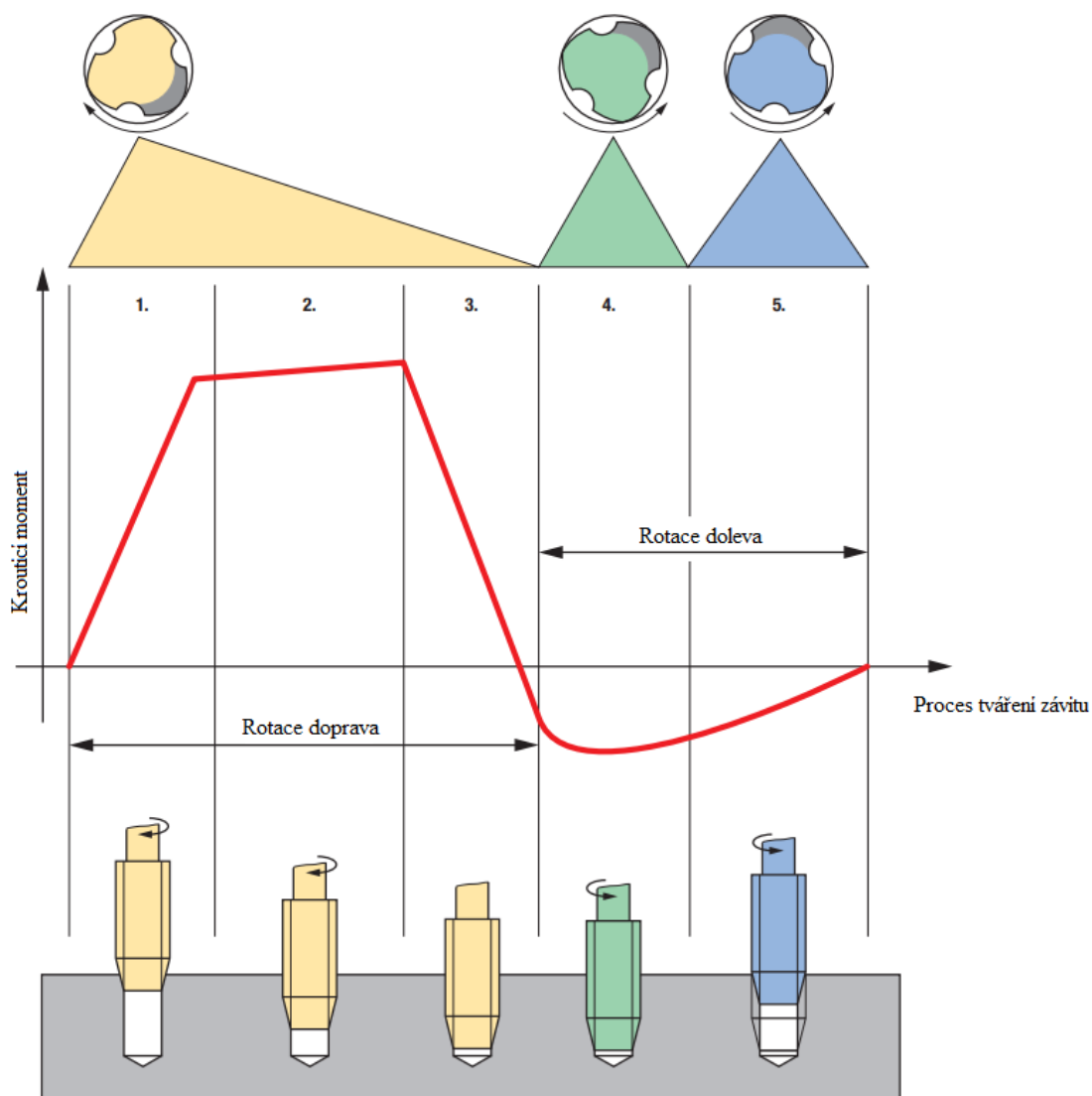
5.2 Očekávané výsledky experimentálních zkoušek

Po zpracování literární rešerše technologie výroby závitů je očekáváno, že největší hodnota silového zatížení bude naměřena u tvářecího závitníku. Časový rozvoj krouticího momentu by měl být shodný s obr. 5.6 a 5.7 dle použitého závitníku.

Průběh krouticího momentu tvářecího závitníku

Průběh krouticího momentu tvářecího závitníku lze rozdělit do pěti základních oblastí a je zobrazen na obr. 5.6 [42]:

1. Začátek tváření materiálu až do ponoření celé tvářecí části závitníku.
2. Tváření závitu.
3. Zbrzdění vřetene až do úplného zastavení stroje.
4. Začátek zpětného chodu vřetene s kluzným třením.
5. Kluzné tření vzniklé mezi tvářecím závitníkem a obrobkem.

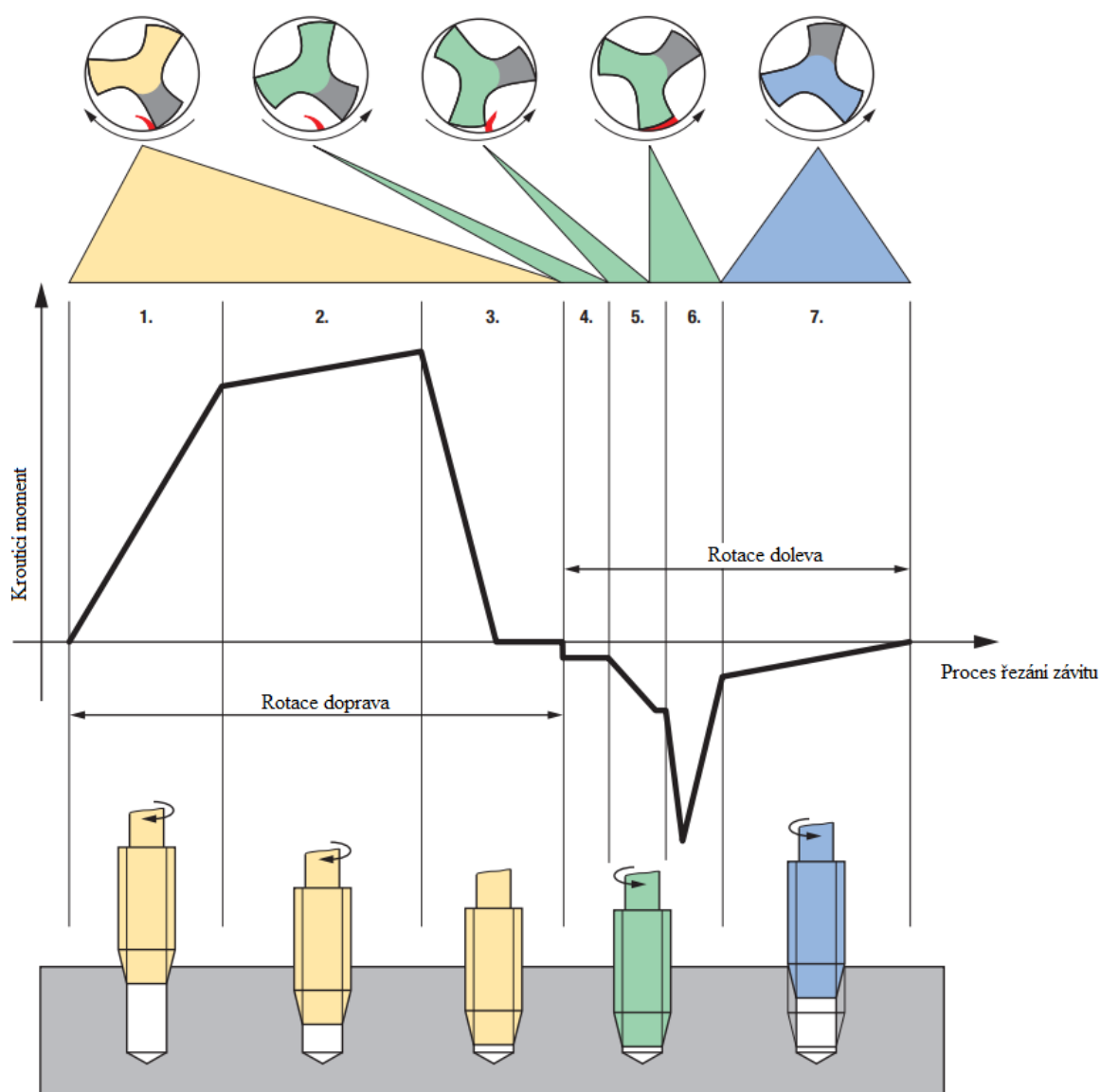


Obr. 5.6 Průběh krouticího momentu při použití tvářecího závitníku - podle [42].

Průběh krouticího momentu řezacího závitníku

Průběh krouticího momentu řezacího závitníku lze rozdělit do sedmi základních oblastí a je zobrazen na obr. 5.7 [42]:

1. Zařízení závitníku a postupný záběr všech náběhových zubů.
2. Rostoucí řezný moment, vzniklý záběrem všech náběhových zubů.
3. Zbrzdění vřetene až do úplného zastavení stroje.
4. Změna směru otáčení vřetene až do dotyku hřbetu zubu s třískou.
5. Odstrížení třísky.
6. Vytlačení kořene třísky, který zůstal po jejím odstrížení.
7. Kluzné tření vzniklé mezi řzacím závitníkem a obrobkem.



Obr. 5.7 Průběh krouticího momentu při použití řezacího závitníku - podle [42].

6 NAMĚŘENÁ DATA A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Experimentální zkoušky byly realizovány dle návrhu popsaném v kapitole č. 5. Prvních devět závitů bylo vyrobeno tvářecím závitníkem. Po vyrobení všech tří závitů požadovanou řeznou rychlostí došlo k výměně použitého závitníku za nový závitník. Použitý závitník se popsal a uschoval pro pozdější analýzu poškození. Dalším závitníkem byly vytvořeny další tři závity při vyšší řezné rychlosti a celý zbytek experimentu se postupovalo analogicky. Poslední tři závity byly zhotoveny při použití nejvyšší řezné rychlosti. Všechny zhotovené závity tvářecím závitníkem při použití tří odlišných řezných rychlostí jsou zobrazeny na obr. 6.1.



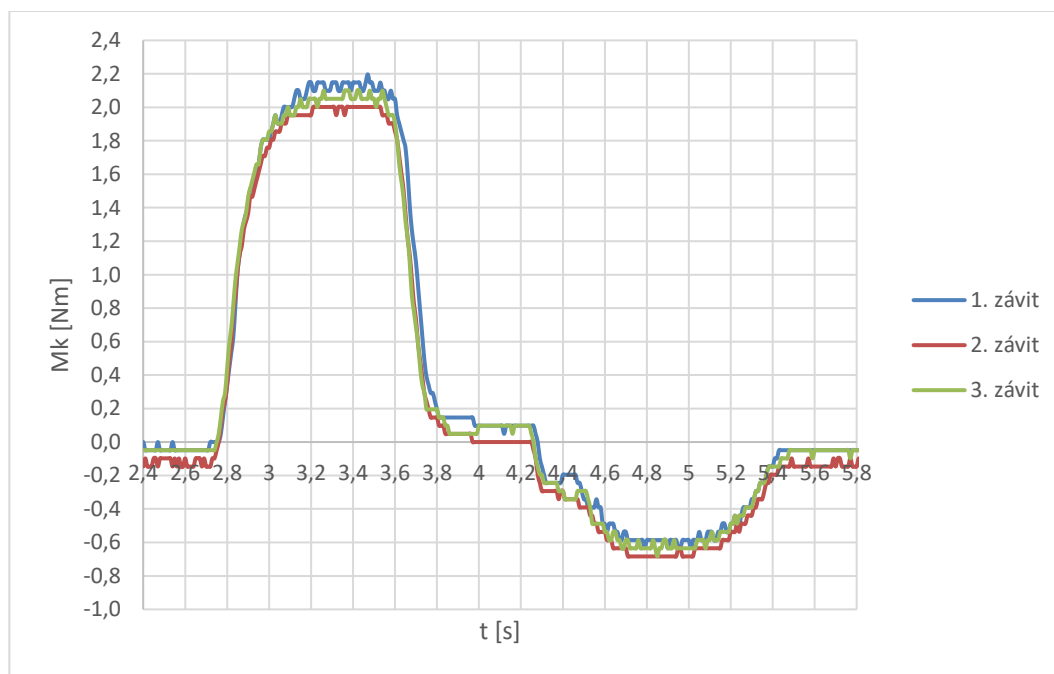
Obr. 6.1 Závity vyrobené tvářecím závitníkem.

Po výrobě 9 závitů tvářecím závitníkem, došlo k změně závitníku na závitník řezací s přímou drážkou a lamačem. Po vyřezání všech 7 závitů došlo k výměně závitníku na závitník řezací se šroubovitou drážkou a tímto závitníkem bylo zhotoveno posledních 9 závitů.

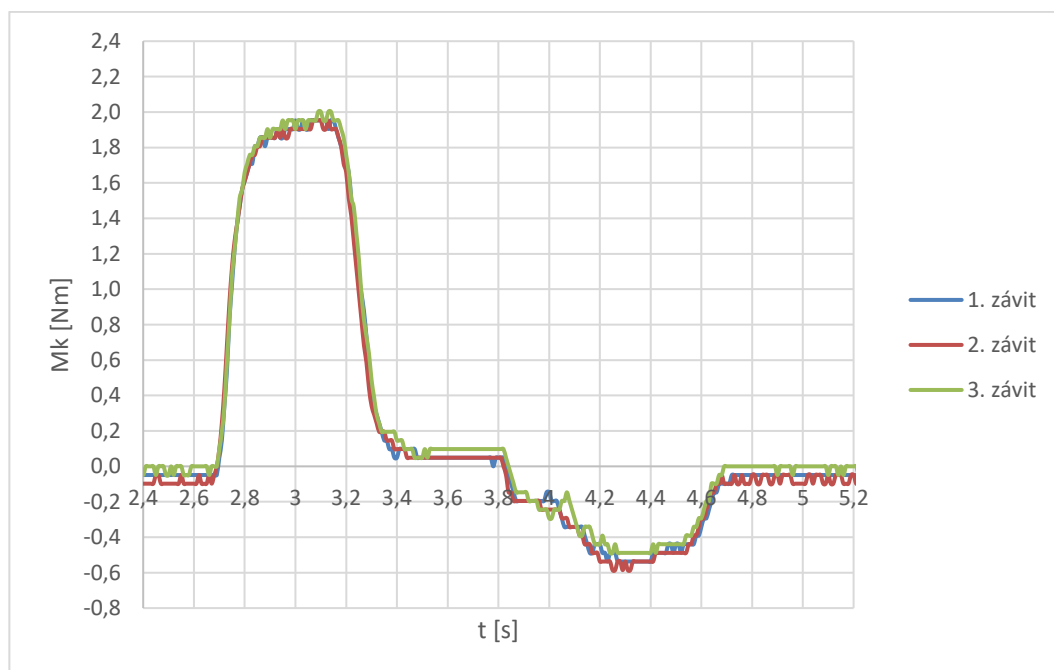
Pro vyhodnocení výsledků byl použit program MS Excel 2019. Zpracovaná data byla vynesena do grafů, které popisují závislost krouticího momentu na čase. Měření krouticího momentu probíhalo 20 sekund a pro každý závitník bylo naměřeno celkem 2 000 dat, takže snímání probíhalo každých 0,01 vteřiny. Pro přehlednost grafů je na časové ose vynesena pouze průběh momentu v době výroby závitu. Každý graf popisuje závislost celkem tří krouticích momentů pro danou řeznou rychlost. Z těchto dat je dále vypočítán maximální průměrný krouticí moment.

6.1 Kroucí moment tvářecího závitníku

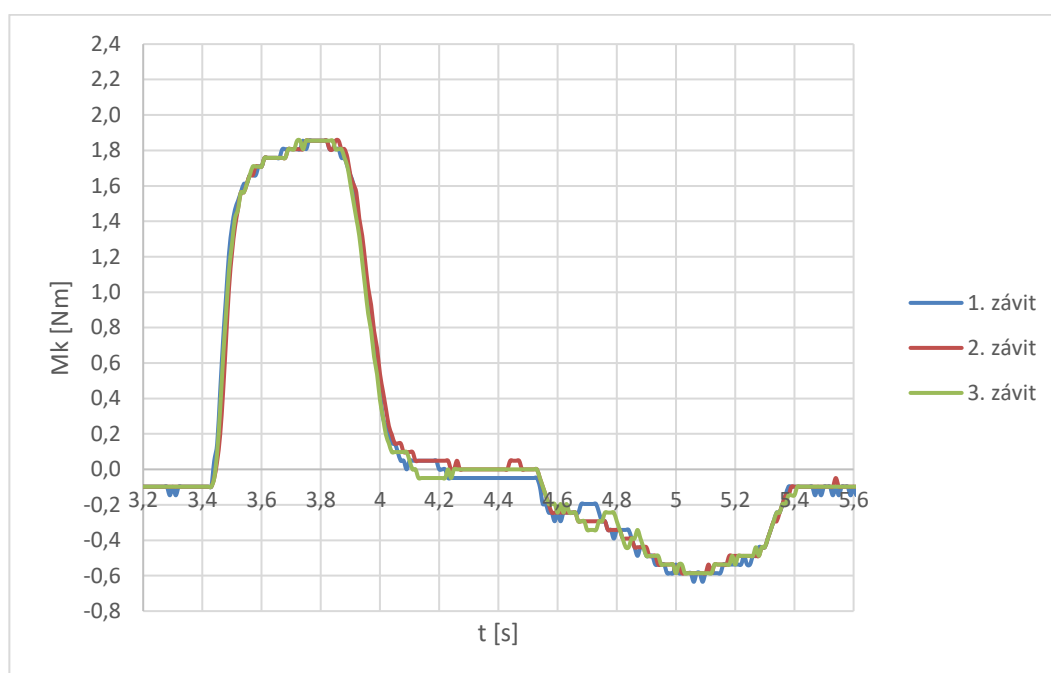
Průběhy kroucího momentu tvářecího závitníku pro různé řezné rychlosti jsou popsány na obr. 6.2–6.4.



Obr. 6.2 Průběh kroucího momentu tvářecího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.

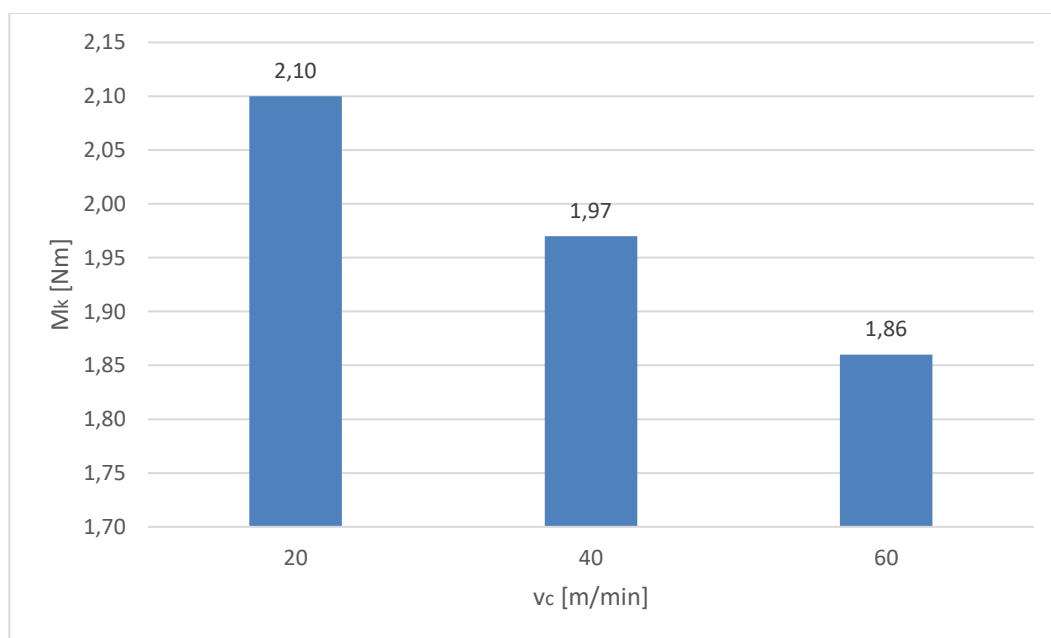


Obr. 6.3 Průběh kroucího momentu tvářecího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 40$ m/min.



Obr. 6.4 Průběh krouticího momentu tvářecího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 60$ m/min.

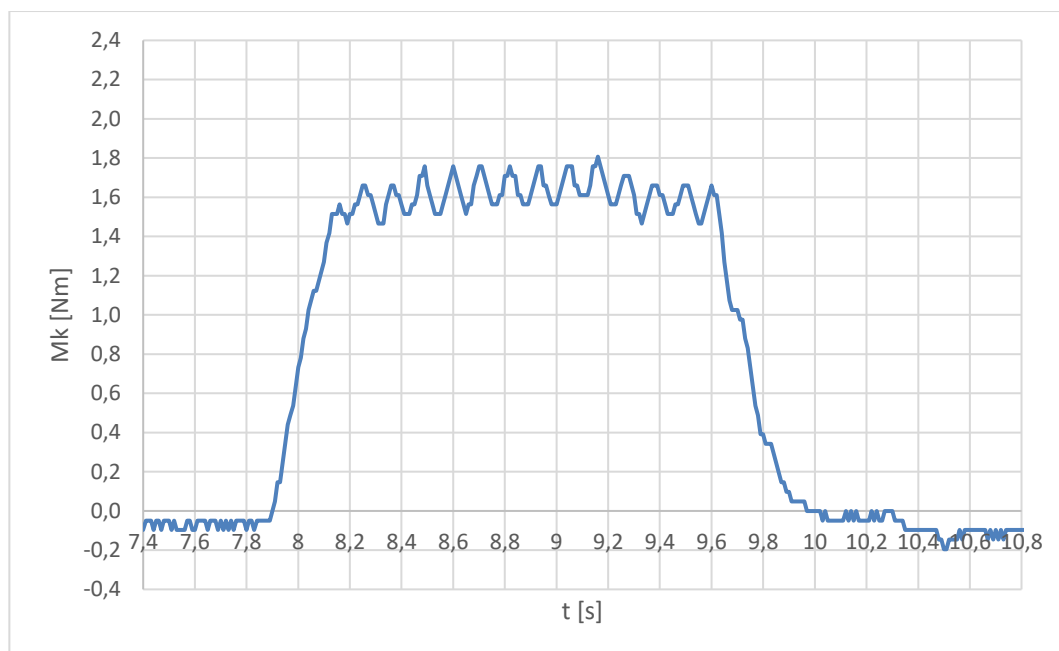
Maximální krouticí moment byl naměřen při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min s hodnotou $M_k = 2,10$ Nm. Porovnání krouticích momentů je popsáno na obr. 6.5.



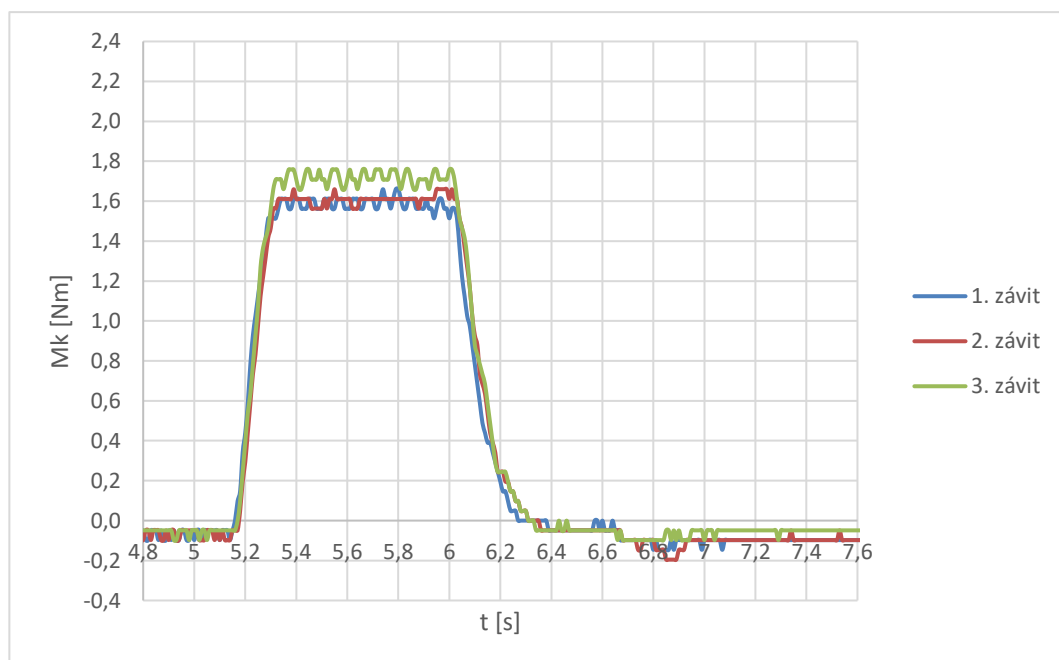
Obr. 6.5 Porovnání maximálního krouticího momentu tvářecího závitníku.

6.2 Kroucí moment řezacího závitníku s přímou drážkou

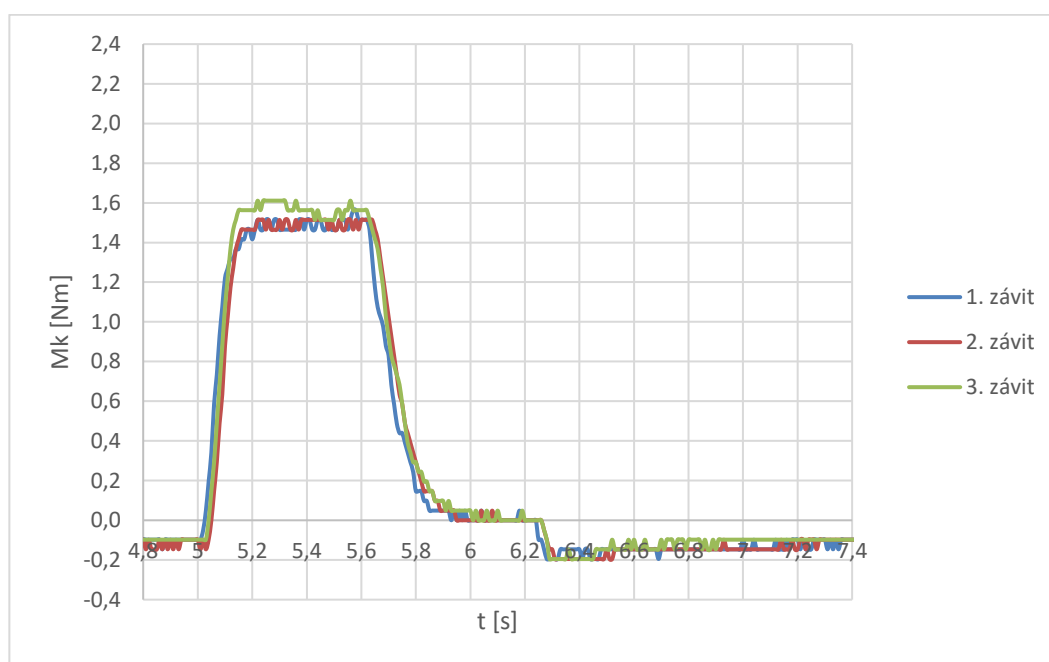
Průběhy kroucího momentu řezacího závitníku s přímou drážkou pro různé řezné rychlosti jsou popsány na obr. 6.6–6.8.



Obr. 6.6 Průběh kroucího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 10$ m/min.

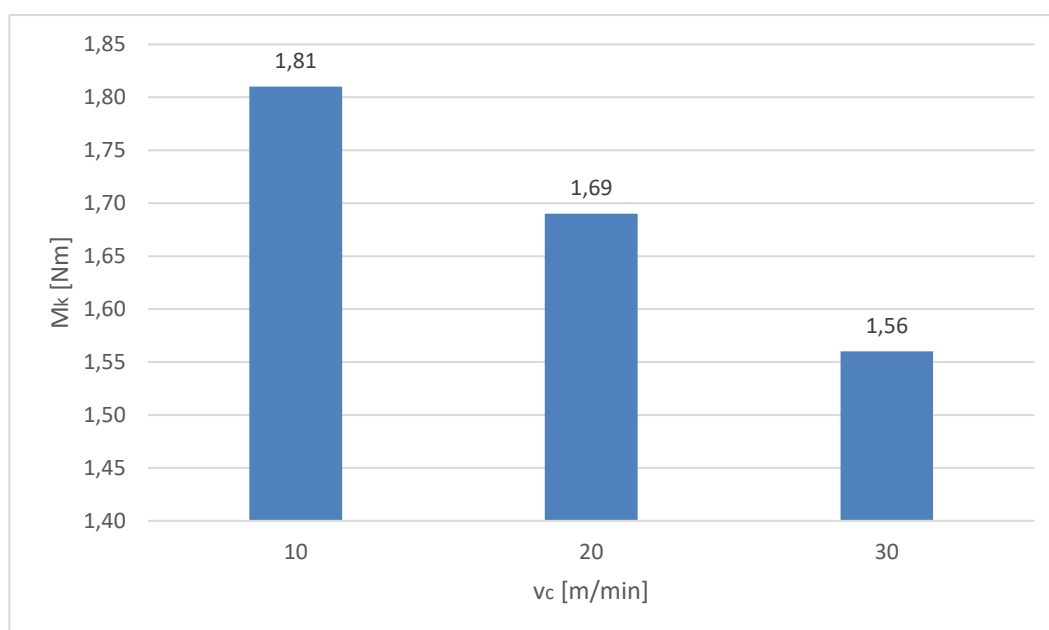


Obr. 6.7 Průběh kroucího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.



Obr. 6.8 Průběh krouticího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 30$ m/min.

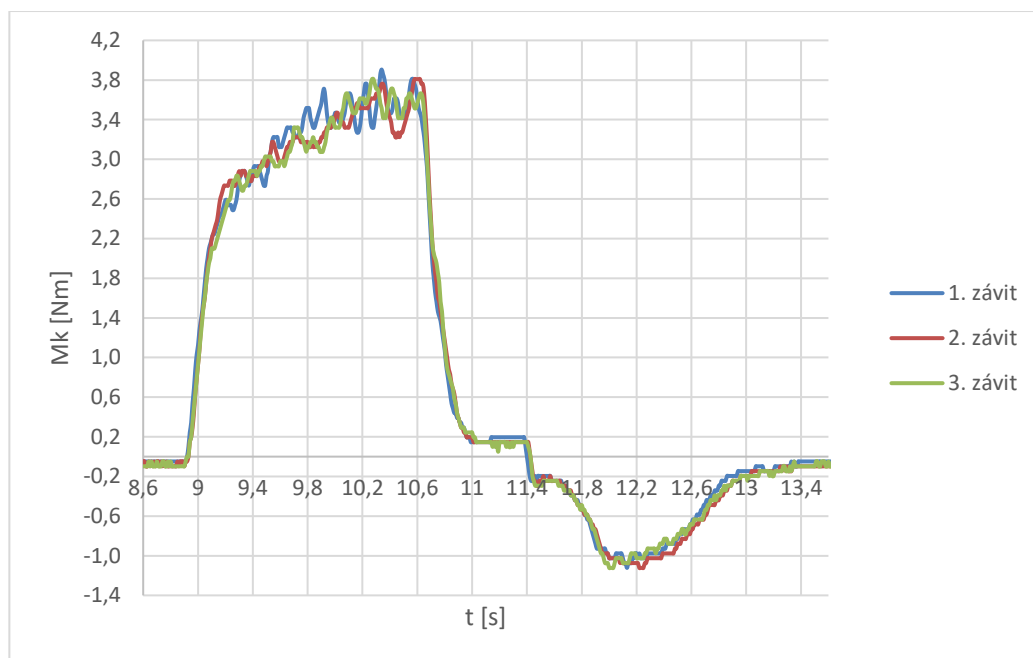
Maximální krouticí moment byl naměřen při řezné rychlosti $v_c = 10$ m/min s hodnotou $M_k = 1,81$ Nm. Porovnání krouticích momentů je popsáno na obr. 6.9.



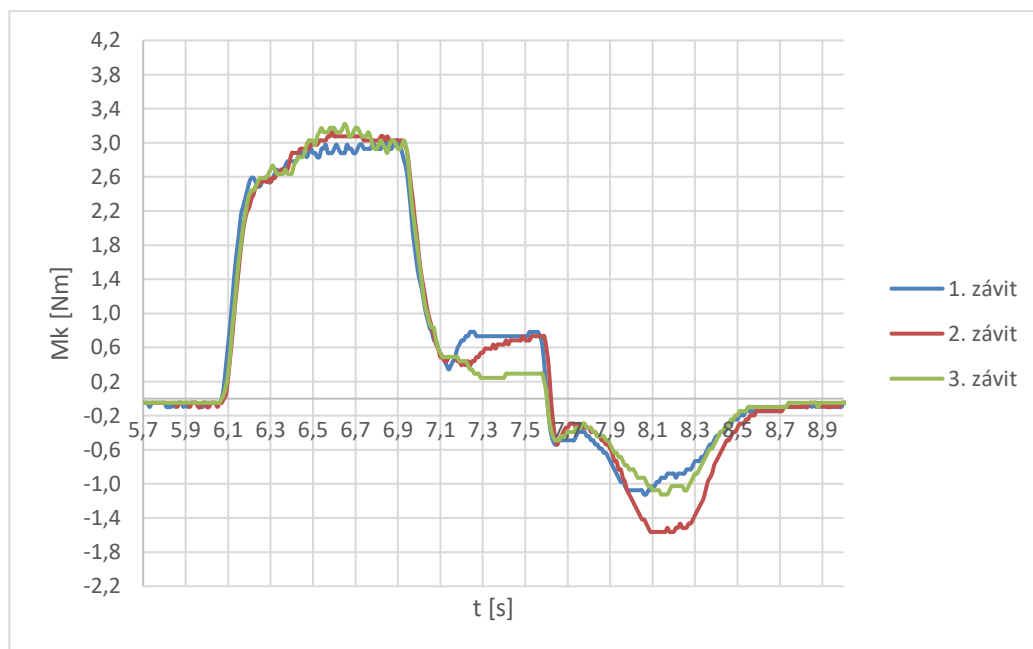
Obr. 6.9 Porovnání maximálního krouticího momentu řezacího závitníku s přímou drážkou.

6.3 Krouticí moment řezacího závitníku se šroubovitou drážkou

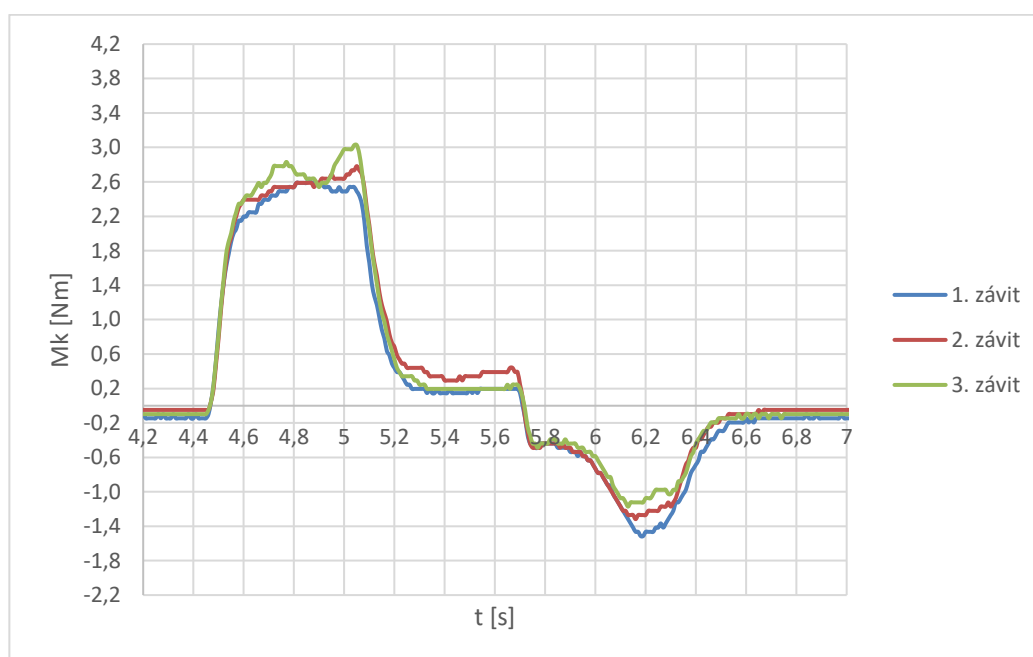
Průběhy krouticího momentu řezacího závitníku se šroubovitou drážkou pro různé řezné rychlosti jsou popsány na obr. 6.10–6.12.



Obr. 6.10 Průběh krouticího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 10$ m/min.

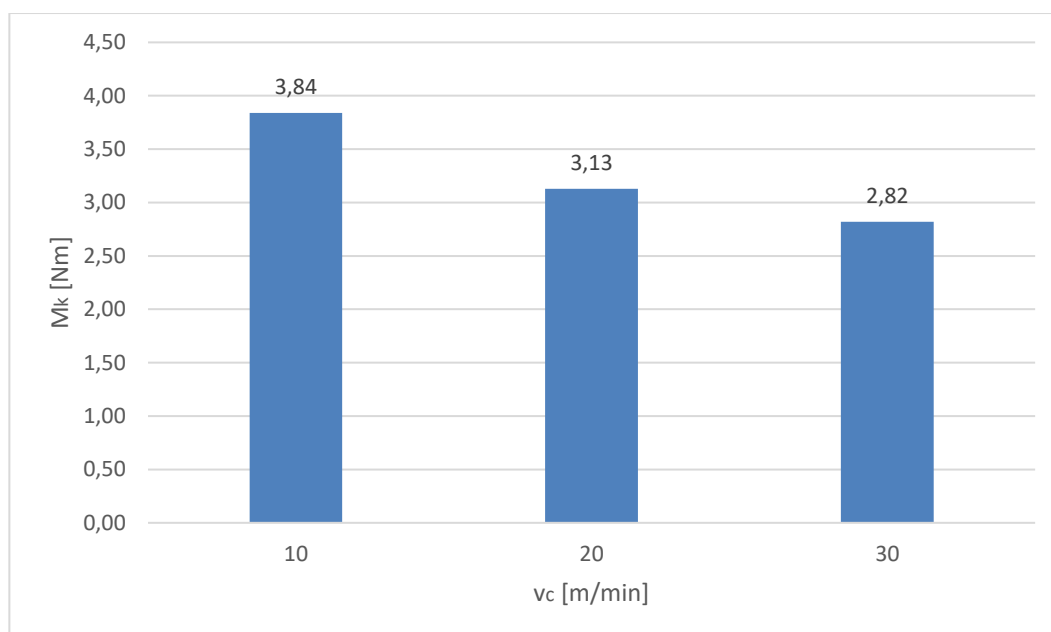


Obr. 6.11 Průběh krouticího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.



Obr. 6.12 Průběh krouticího momentu řezacího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 30$ m/min.

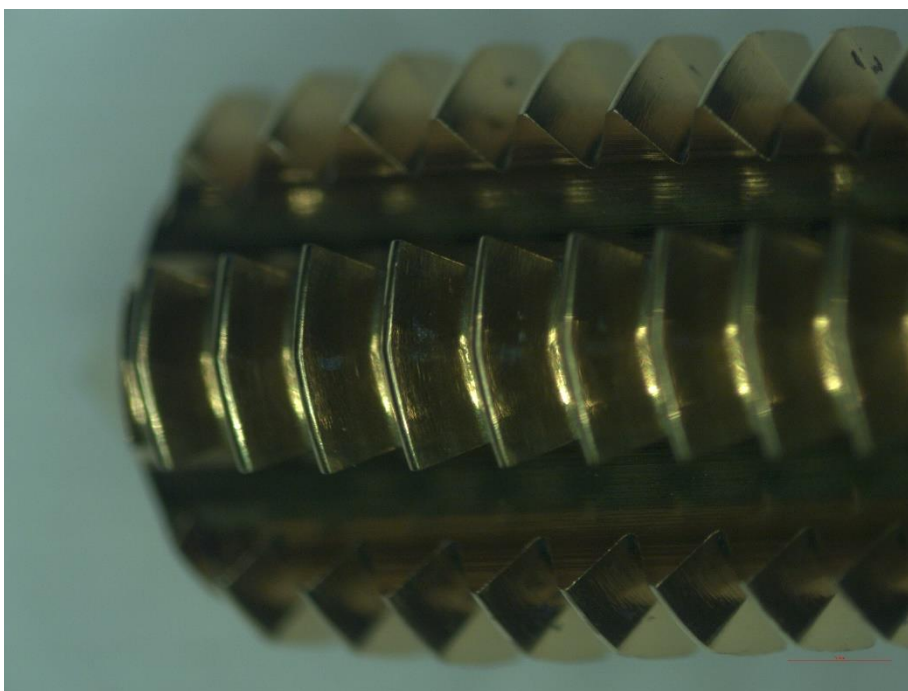
Maximální krouticí moment byl naměřen při řezné rychlosti $v_c = 10$ m/min s hodnotou $M_k = 3,84$ Nm. Porovnání krouticích momentů je popsáno na obr. 6.13.



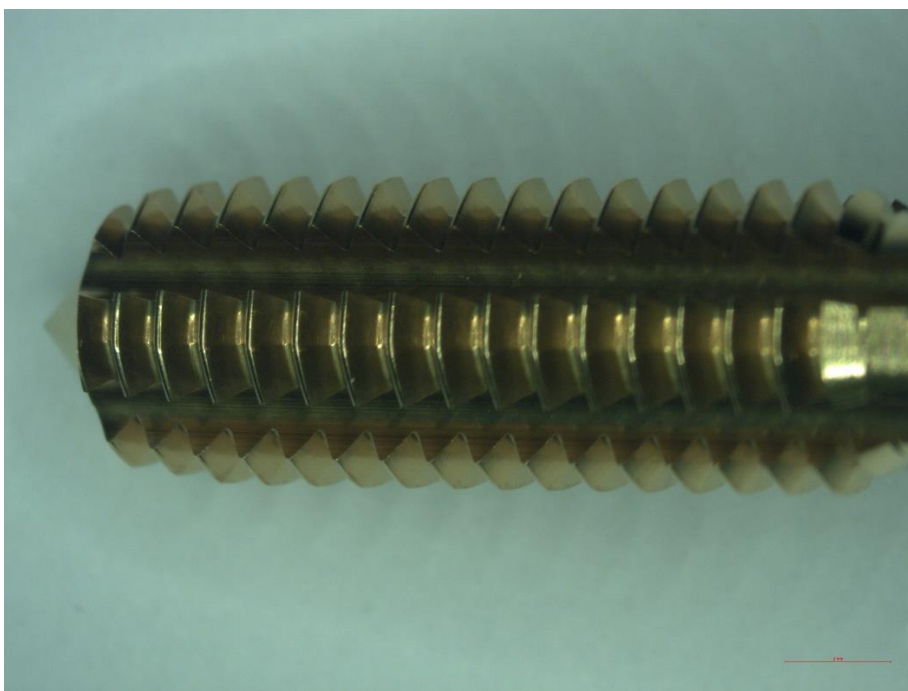
Obr. 6.13 Porovnání maximálního krouticího momentu řezacího závitníku se šroubovitou drážkou.

6.4 Analýza poškození závitníků

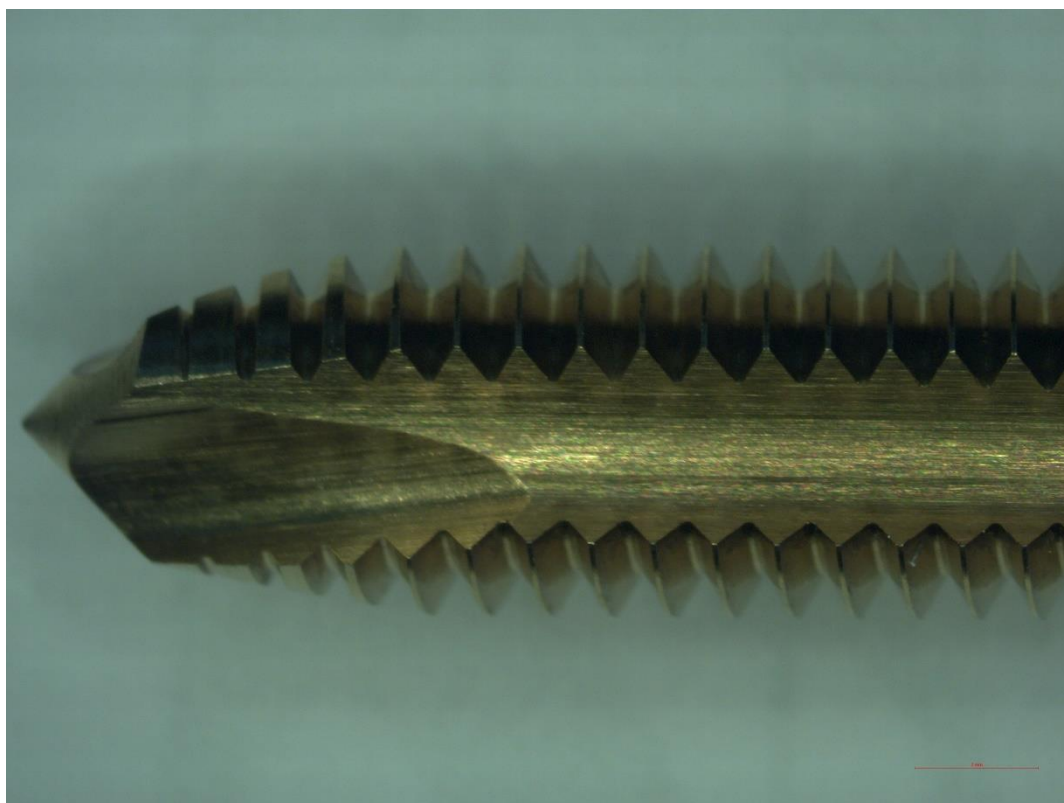
Při výrobě závitů došlo k poškození závitníků vlivem abraze a k zaoblení a opotřebení hrany zubů. Opotřebení je vzniklé vlivem tření boku nástroje s obrobkem. Největšího poškození bylo dosaženo při nejnižší řezné rychlosti. Porovnání poškození závitníků je na obr. 6.14–6.19.



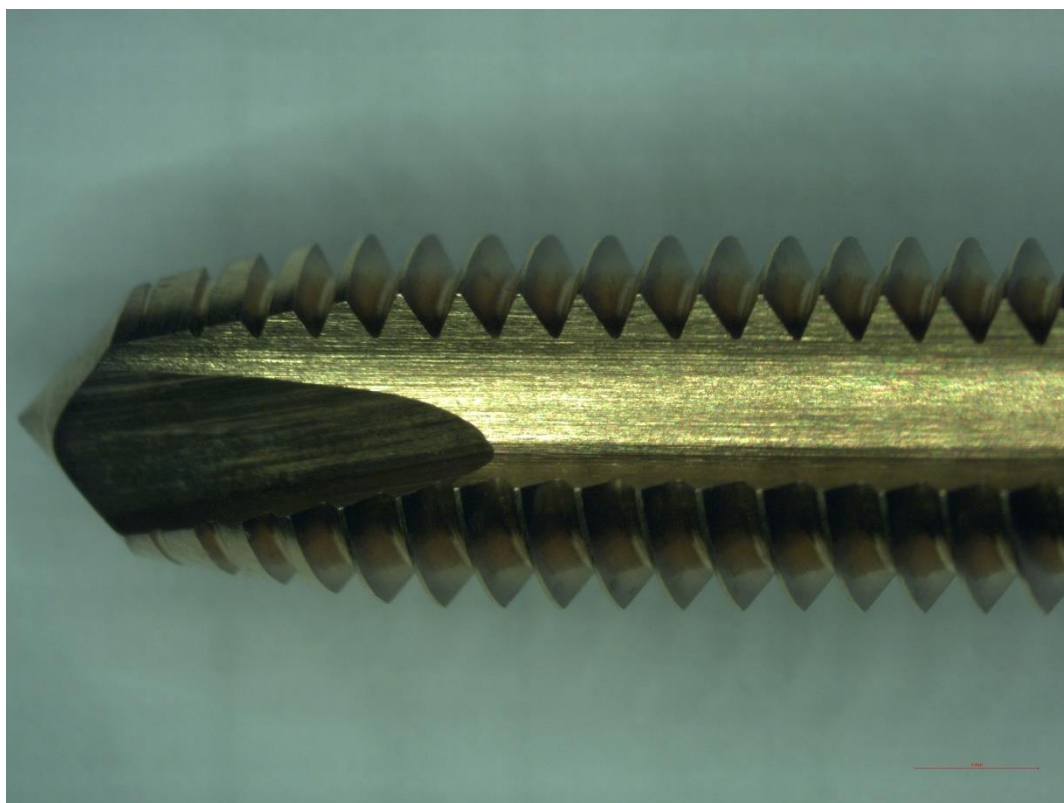
Obr. 6.14 Opotřebení tvářecího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.



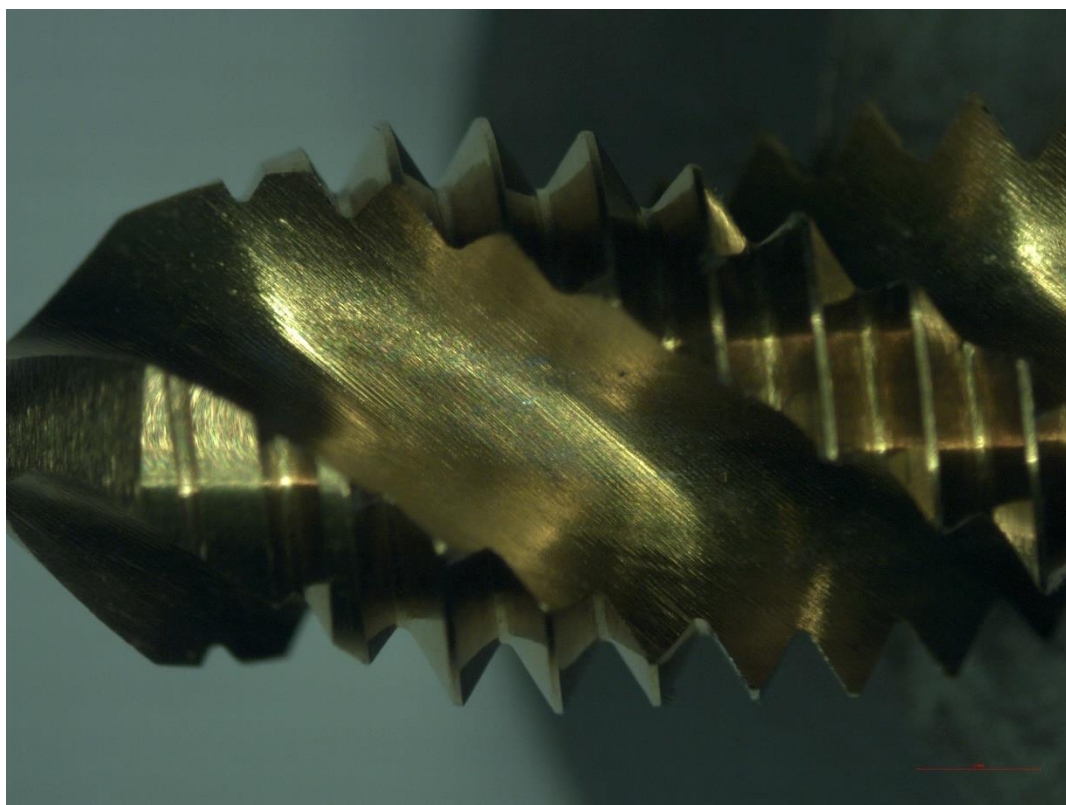
Obr. 6.15 Opotřebení tvářecího závitníku při řezné rychlosti $v_c = 60$ m/min.



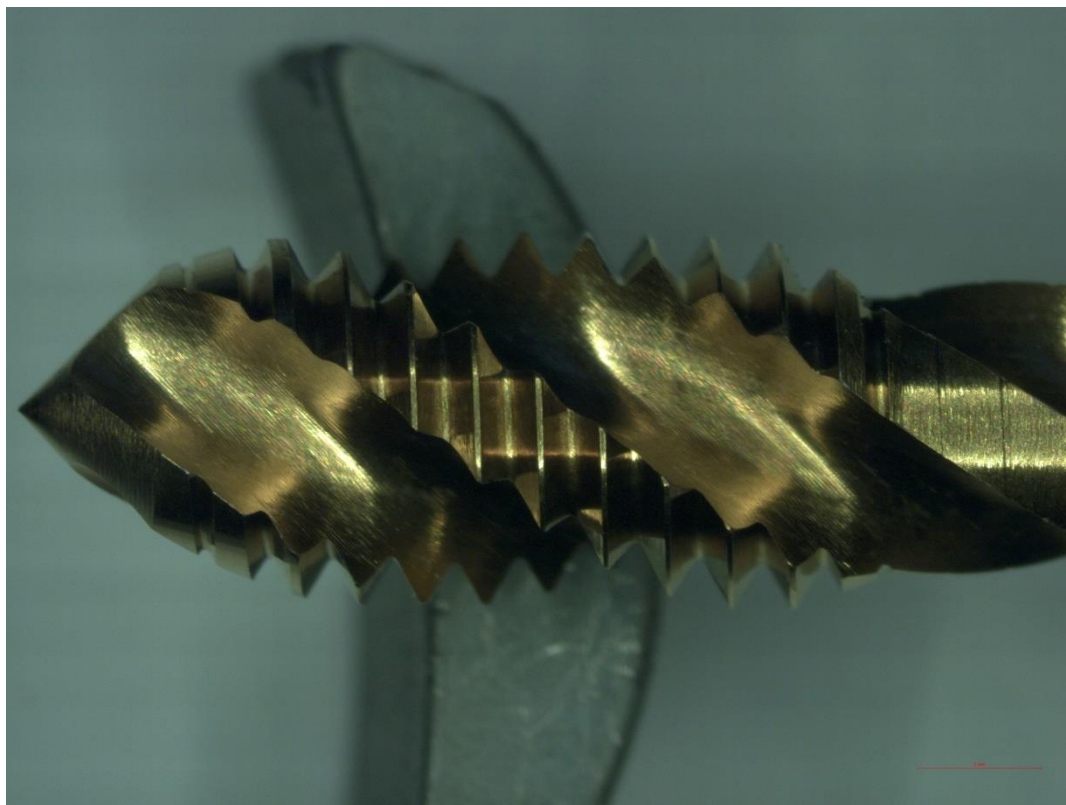
Obr. 6.16 Opotřebení řezacího závitníku s přímou drážkou při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.



Obr. 6.17 Opotřebení řezacího závitníku s přímou drážkou při řezné rychlosti $v_c = 30$ m/min.



Obr. 6.18 Opatření řezacího závitníku se šroubovitou drážkou při řezné rychlosti $v_c = 10$ m/min.

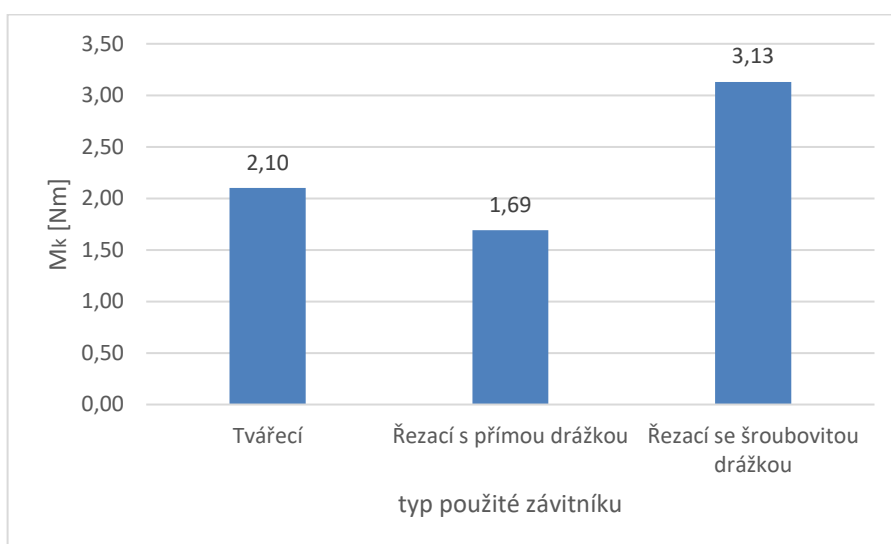


Obr. 6.19 Opatření řezacího závitníku se šroubovitou drážkou při řezné rychlosti $v_c = 30$ m/min.

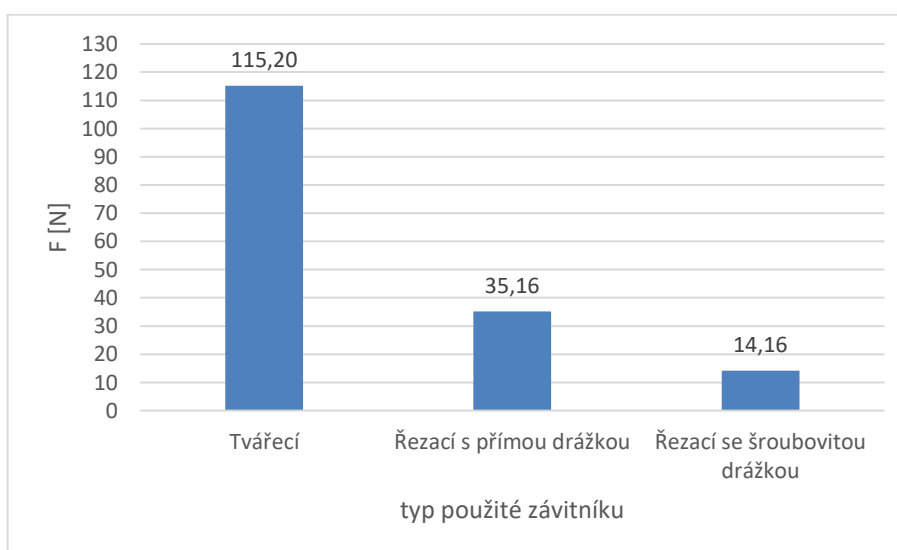
7 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Průběh naměřeného krouticího momentu při výrobě závitů je podobný s teoretický průběhem, který je popsán v kapitole 6.2. Největší odchylka vzniká v oblasti „2“, kdy dochází k tváření nebo řezání závitu a moment zde dosahuje svého maxima. Naměřený moment na rozdíl od teoretického není konstantní, tato odchylka může být způsobena vlivem materiálu (tvrdost materiálu, houževnatost), opotřebením závitníku, chlazením atd. Maximální krouticí moment byl naměřen při použití nejmenší řezné rychlosti. Srovnání krouticího momentu při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min je zobrazeno na obr. 7.1. Tato rychlost byla použita u všech tří zkušebních závitníků.

Síla působící na závitník klesá s rostoucím krouticím momentem. Při vyšší řezné rychlosti na závitník působí větší silové zatížení. Porovnání silového zatížení při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min je zobrazeno na obr. 7.2.

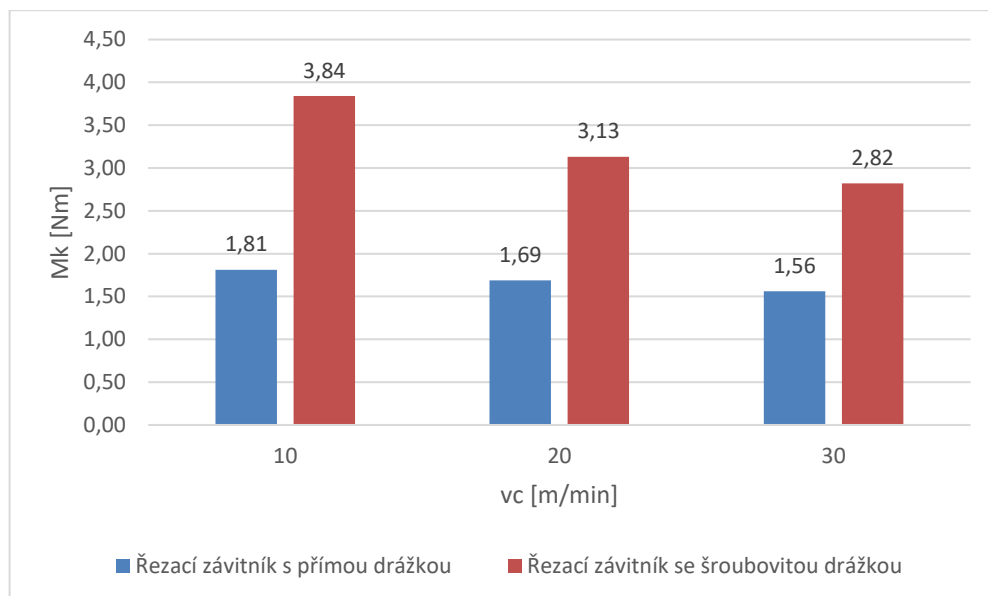


Obr. 7.1 Porovnání krouticího momentu použitých závitníků při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.



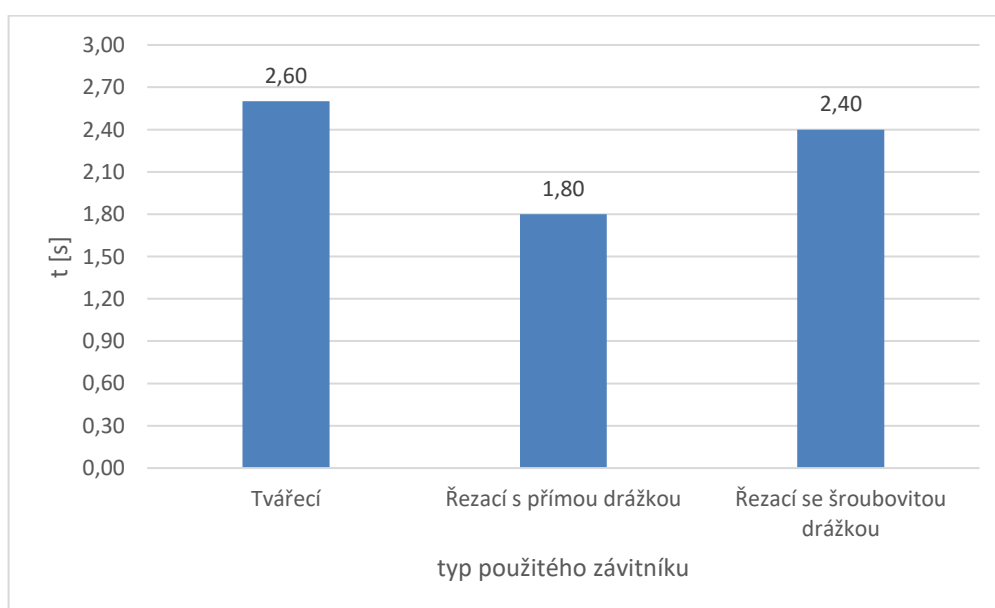
Obr. 7.2 Porovnání silového zatížení použitých závitníků při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.

Porovnání krouticího momentu řezacích závitníků při použití stejných řezných rychlostí je na obr. 7.3.



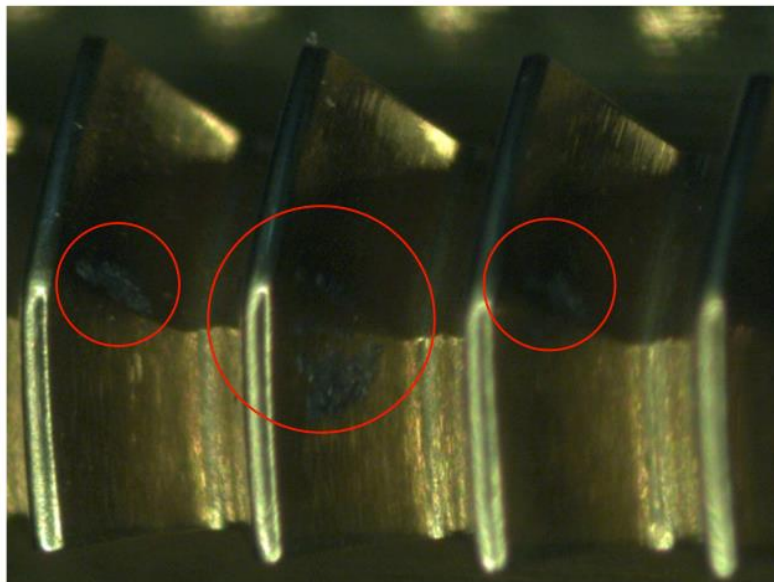
Obr. 7.3 Porovnání krouticího momentu řezacích závitníků při použití stejných řezných rychlostí.

Časové srovnání výroby jednoho závitu při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min (obr. 7.4) ukazuje, že nejrychleji byl vyrobený závit řezacím závitníkem s přímou drážkou. Nejpomalejší je výroba závitu tvářecím závitníkem.



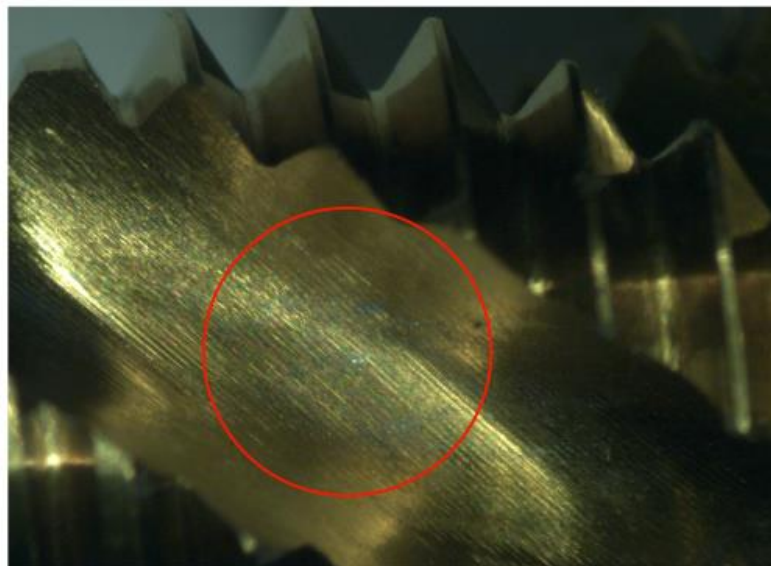
Obr. 7.4 Porovnání výrobního času jednoho závitu při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.

Vizuální analýza poškození závitníku ukazuje, že největší opotřebení vzniká při použití nízkých řezných rychlostí. Tvářecí závitník vykazuje největší opotřebení povlaku zubů (obr. 7.5).



Obr. 7.5 Opotřebení tvářecího závitníku.

U řezacího závitníku s přímou drážkou i řezacího závitníku se šroubovitou drážkou je patrné abrazivní opotřebení drážek (obr. 7.6), které vzniká odvodem třísek z místa řezu.



Obr. 7.6 Opotřebení řezacího závitníku se šroubovitou drážkou.

Výroba závitu závitníkem je závislá na několika parametrech. Volba použití řezné kapaliny nebo oleje, potřené k mazání a chlazení při výrobě závitů má velký vliv na výsledný krouticí moment [43]. Použitím oleje, který má lepší mazací účinky než řezná kapalina, lze zmenšit krouticí moment u tvářecího závitníku až o 40 % [43]. Výsledná tvrdost tvářeného závitu při použití oleje je ale podstatně nižší, než při použití řezné kapaliny [43].

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá tématem závitů, převážně jejich výrobou. Po teoretickém popisu závitů byly provedeny experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.

Teoretická část je zpracována z odborných pramenů a zabývá se úvodem do geometrie závitů, jejich výrobou a moderními trendy ve výrobě.

Moderní trendy ve výrobě závitů:

- povlakování nástrojů metodou HiPIMS, kdy výsledná mikrostruktura dosahuje větší tvrdosti a menší drsnosti povrchu než při použití běžných PVD metod,
- vhodně zvolená geometrie závitové frézy s použitím vnitřního chlazení k optimálnímu odchodu třísek z místa řezu,
- použití závitové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- změna kinematiky výroby závitů metodou Punch Tap, při které vlivem změny trajektorie závitníku dochází k časové úspoře až o 75 %,
- využití speciální geometrie nástroje kombinující předvrtání otvoru a následné vytvoření závitu, kombinací těchto technologií dochází k časové úspoře 2 sekund na jeden závit.

Experimentální zkoušky se zabývaly výrobou závitů závitníky. Zkoumané byly rozdíly mezi závitníkem tvářecím, řezacím s přímou drážkou a řzacím závitníkem se šroubovitou drážkou při změně řezné rychlosti.

Dosažené výsledky experimentálních zkoušek:

- Při stejné řezné rychlosti dosahuje největší hodnoty krouticího momentu řzací závitník se šroubovitou drážkou, jeho hodnota je přibližně o 46 % větší než hodnota momentu řzacího závitníku s přímou drážkou. Se zvyšující se řeznou rychlostí klesá momentové zatížení závitníku.
- Při stejné řezné rychlosti dosahuje největšího silového zatížení tvářecí závitník, hodnota zatížení je přibližně 3x větší než při použití závitníku s přímou drážkou, a až 8x větší než hodnota zatížení řzacího závitníku se šroubovitou drážkou. Se zvyšující se řeznou rychlostí roste silové zatížení závitníku.
- Krouticí moment řzacího závitníku se šroubovitou drážkou je u všech měření přibližně 2x větší než hodnota momentu řzacího závitníku s přímou drážkou.
- Nejrychlejší výroba závitu je dosažena použitím řzacího závitníku s přímou drážkou a dosahuje hodnoty $t = 1,8$ s při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min.
- Největšího opotřebení závitníku bylo dosaženo při nejnižší řezné rychlosti. Dle vizuální kontroly byl nejvíce poškozen závitník tvářecí při řezné rychlosti $v_c = 20$ m/min. K opotřebení povlaku došlo na zubech závitníku. U řzacích závitníků je patrné poškození drážky otěrem, vzniklé vlivem interakce obrobku s nástrojem a následným odvodem třísky z místa řezu.

Volba vhodného závitníku je závislá na požadovaných vlastnostech vyrobeného závitu. Závít vyrobený tvářecím nebo řezacím závitníkem má odlišné mechanické vlastnosti, které v této práci nebyly zkoumány. Z dosažených výsledků je k výrobě závitů nejvhodnější závitník řezací s přímou drážkou, při stejných řezných podmínkách dosahuje nejmenšího momentového zatížení a nejrychlejšího výrobního času.

Použitím vyšších řezných rychlostí je dosaženo minimálního opotřebení závitníků a klesá také momentového zatížení. S rostoucí řeznou rychlostí, roste silové zatížení a zvyšuje se riziko zalomení závitníku, a tím možné znehodnocení závitu a součásti kde je závít vyráběn.

Pro zpřesnění těchto závěrů nebo k jejich vyvrácení, by bylo zapotřebí provedení dalších dlouhodobějších experimentálních zkoušek s vyšším počtem vyrobených závitů. Dále by bylo vhodné analyzovat vyrobené závity, jejich přesnost, mechanické vlastnosti a výslednou kvalitu. S naměřenými daty v této bakalářské práci se použití vyšší řezné rychlosti a řezacího závitníku s přímou drážkou jeví jako nejvhodnější technologie při výrobě závitů při porovnání s ostatními použitými závitníky a řeznými rychlostmi.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Nuts and bolts definition and meaning / Collins English Dictionary* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/nuts-and-bolts>
- [2] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 4., přeprac. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN isbn80-7204-458-3.
- [3] HAVLÍK, Jiří a Tadeáš SZLACHTA. *Základy strojnictví I*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003. ISBN isbn80-248-0477-8.
- [4] *Výroba závitů - UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: http://www.kvantum.sk/files/Vyroba_zavitov.pdf
- [5] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část* [online]. Brno, 2004, 95 s. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Fakulta strojního inženýrství, VUT Brno.
- [6] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN isbn80-214-1996-2.
- [7] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN isbn80-7183-337-1.
- [8] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN isbn80-214-2336-6.
- [9] *Závitová kruhová čelist* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/zavitove-kruhove-celisti/9500/>
- [10] *What is thread rolling? The working principle and advantages of thread rolling* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://npackfillers.medium.com/what-is-thread-rolling-the-working-principle-and-advantages-of-thread-rolling-1997a012e5a3>
- [11] *Util ALCO* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.machinetoolsolutions.com.au/utilalco>
- [12] *Molded Threads and How to Design Them* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/molded-threads-and-how-to-design-them/>

- [13] *Sacmi and Sipa collaborate on new PET preform and closure solution* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.plasticstoday.com/sacmi-and-sipa-collaborate-new-pet-preform-and-closure-solution>
- [14] ROČEK, Vladimír a Zdeněk PROCHÁZKA. *Strojní závitníky, jejich používání a údržba*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974. Řada strojírenské literatury.
- [15] *FORM TAPPING VS. THREAD CUTTING SCREWS* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://advantagemachining.ca/form-tapping-vs-thread-cutting-screws/>
- [16] *Walter Prototyp: Produktová příručka Závitování - Walter Tools* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-prototyp-threading-2012-cz.pdf>
- [17] *Roll Forming Taps Vs. Cutting Thread Taps On A CNC Mill* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://cncmachinisttraining.com/2013/04/02/roll-forming-taps-vs-cutting-thread-taps-on-a-cnc-mill/>
- [18] *Roll taps* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.bass-tools.com/en/products/roll-taps>
- [19] *HAHNREITER - POVLAKY ZÁVITNÍKŮ* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/hahnreiter/zavitniky/povlaky-zavitniku/>
- [20] *CVD* [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.ionbond.com/cz/technologie/cvd/>
- [21] *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Fakulta strojního inženýrství, VUT Brno.
- [22] *Tvářecí závitník* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/tvareci-zavitniky/2910/>
- [23] *What is HIPIMS? High Power Impulse Magnetron Sputtering* [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <http://www.semicore.com/news/93-what-is-hipims>
- [24] *Impulsní magnetronové rozprašovače s vysokým výkonem - Novinky - Technologie IKS PVD (Shenyang) Co., Ltd.* [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <http://cz.iksvacuum.com/news/high-power-impulse-magnetron-sputtering-11656139.html>

- [25] *TC470 Supreme* [online]. [cit. 2021-03-23].
Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/press/news/Pages/2020-tc470-supreme.aspx>
- [26] *Nejzajímavější výrobky 2021-1* [online]. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z:
<https://www.walter-tools.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/product-innovations-2021-1-highlight-cz.pdf>
- [27] *Novinky závitování* [online]. [cit. 2021-03-23].
Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/innovations/threading/Pages/innovations-threading-2/new-products-threading-3.aspx>
- [28] *Inovace výrobků pro závitování* [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z:
<https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/innovations/threading/Pages/innovations-threading-1/new-products-threading-1.aspx>
- [29] *EMUGE_InnoForm_STEEL_M* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z:
https://www.emuge.sk/sub/emuge.sk/images/katalogy/EMO-2019/EMUGE_InnoForm_STEEL_M_ZP10134_DEGB.pdf
- [30] *InnoForm 1-STEEL-M-SN-IKZN-PM-TIN-66 / Emuge-Franken Website* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.emuge-franken-group.com/se/en/thread-technology/cold-forming-tap/innoform-1-steel-m-sn-ikzn-pm-tin-66/p/H102066>
- [31] *Kinematics / Punch Tap / der kurze Weg – the shortest way* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://punchtap.com/en/kinematics/>
- [32] *EMUGE Punch Tap - nová technologie spirálového tváření závitů - MSV - Veletrhy Brno* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.bvv.cz/msv/zlata-medaile-msv/2018/prihlasene-exponaty/06-emuge-punch-tap-nova-technologie-spiraloveho-tv/>
- [33] *EMUGE_ZGF* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z:
https://www.emuge.sk/sub/emuge.sk/images/katalogy/EMO-2019/EMUGE_ZGF_ZP10096_DEGB_RevC.pdf
- [34] *EMUGE Taptor* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z:
https://www.emuge.sk/sub/emuge.sk/images/katalogy/EMO-2019/EMUGE_Taptor_ZP10133_GB.pdf
- [35] *ČSN 1205* [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z:
<http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>
- [36] *Narex Strojní závitník s přímou drážkou a lamačem* [online]. [cit. 2021-04-22].
Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/strojni-zavitniky/1510/>

- [37] *Narex Strojní závitník se šroubovitou drážkou 35°* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/strojni-zavitniky/2360/>
- [38] *Gühring Navigator* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://navigator.guehring.de/navigator/index.php?&mod=dat&lng=cs&sorte=1266>
- [39] *Portálové obráběcí centrum MCV 1210 • TAJMAC-ZPS* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/mcv-1210>
- [40] *Strojní tvářecí závitníky pro metrické závity dle ISO* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://webshop.guehring.cz/1266>
- [41] *Catalog_Threading_Tools_EN_lowres* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.guhring.co.uk/downloads/Catalog_Threading_Tools.pdf
- [42] *EMUGE 150 Hlavní katalog* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://emuge-franken.cz/wp-content/uploads/2019/12/ZK12016_DEGB%20EMUGE-Katalog%20150.pdf
- [43] FROMENTIN, G., G. POULACHON, A. MOISAN, B. JULIEN a J. GIESSLER. Precision and surface integrity of threads obtained by form tapping., *CIRP Annals: Volume 54, Issue 1*, [online]., 519-522 [cit. 2021-05-14]. ISSN 0007-8506. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60159-0](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60159-0)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
C	Uhlík
Cr	Chrom
CrN	Nitrid chromu
CVD	<i>Chemical Vapor Deposition</i> (chemická depozice vrstev)
ČSN	Česká Státní Norma
DC	<i>Direct Current</i> (stejnoseměrný proud)
HiPIMS	<i>High Power Impulse Magnetron Sputtering</i> (vysoce výkonné impulzní magnetronové rozprašování)
HRC	tvrdost dle Rockwella
HSSE	<i>Super High Speed Steel</i> (rychlořezná ocel)
HSSE PM	<i>Powder Metallurgy High-Speed Steel</i> (vysoce výkonná rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
ISO H	tvrzené materiály
ISO K	litina
ISO M	korozivzdorná ocel
ISO N	hliník
ISO P	ocel
ISO S	žárovzdorné slitiny
Mn	Mangan
Mo	Molybden
Ni	Nikl
Nit	povrchová úprava nitridováním
P	Fosfor
PVD	<i>Physical Vapour Deposition</i> (fyzikální depozice vrstev)
S	Síra
Si	Křemík
TiC	Karbid Titanu
TiCN	Karbonitrid Titanu
TiN	Nitrid Titanu

WC/C	Karbid Wolframu
------	-----------------

Symbol	Jednotka	Popis
P	[mm]	Rozteč závitu
P_h	[mm]	Stoupání závitu
SW	[mm]	Rozměr čtyřhranu závitníku
a	[mm]	Rozměr čtyřhranu závitníku
d	[mm]	Průměr válcové plochy
d₁	[mm]	Jmenovitý průměr závitu
d₂	[mm]	Průměr stopky závitníku
d_k	[mm]	Průměr předvrtaného otvoru
f_n	[mm/ot]	Posuv na otáčku
i_k	[-]	Převod výměnnými ozubenými koly
i_p	[-]	Převod posuvové převodovky
l₁	[mm]	Délka řezného kužele (list 15)
l₁	[mm]	Celková délka závitníku (list 26-27)
l₂	[mm]	Délka vodícího kužele (list 15)
l₂	[mm]	Délka závitu závitníku (list 26-27)
l₃	[mm]	Délka stopky závitníku
l₅	[mm]	Délka vodící části závitníku
n_o	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
n_š	[min ⁻¹]	Otáčky vodícího šroubu
n_z	[min ⁻¹]	Otáčky závitníku
s_o	[mm]	Stoupání obrobku
s_š	[mm]	Stoupání vodícího šroubu
t	[s]	Čas
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
v_f	[m/min]	Posuvová rychlost
v_o	[m/min]	Rychlost obrobku
α₀	[°]	Úhel hřbetu

γ_0	[°]	Úhel čela
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
κ_{r1}	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří (předřezávací závitník)
κ_{r2}	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří (řezací závitník)
κ_{r3}	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří (dořezávací závitník)
π	[-]	Ludolfovo číslo